



TUGAS AKHIR – RF 141501

POTENSI LIKUIFAKSI TANAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR STUDI KASUS KECAMATAN PUGER, JEMBER

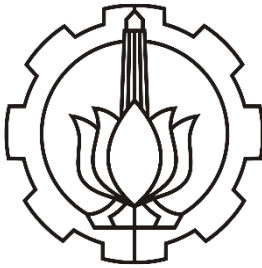
MUHAMMAD REZA SHALAHUDDIN NOOR
NRP. 3713100001

Dosen Pembimbing
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



TUGAS AKHIR – RF 141501

POTENSI LIKUIFAKSI TANAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR STUDI KASUS KECAMATAN PUGER, JEMBER

MUHAMMAD REZA SHALAHUDDIN NOOR
NRP. 3713100001

Dosen Pembimbing
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS – RF 141501

LIQUEFACTION POTENTIAL BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENT CASE STUDY OF PUGER SUBDISTRICT, JEMBER REGENCY

MUHAMMAD REZA SHALAHUDDIN NOOR
NRP. 3713100001

Advisor Lecturer
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1001

DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

POTENSI LIKUIFAKSI TANAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR STUDI KASUS KECAMATAN PUGER, JEMBER


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 4 Juli 2017

Mengetahui:


Dosen Pembimbing 1, Dosen Pembimbing 2,



Dr. Dwa Desa Warnana Dr. Amien Widodo
NIP. 19760123 200603 1001 NIP. 19591010 198803 1001

Mengetahui :

Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Studi Kasus Kecamatan Puger, Jember” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 4 Juli 2017

Muhammad Reza Shalahuddin Noor
NRP. 3713100001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

POTENSI LIKUIFAKSI TANAH BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR STUDI KASUS KECAMATAN PUGER, JEMBER

Nama : Muhammad Reza Shalahuddin Noor
NRP : 3713100001
Jurusan : Teknik Geofisika
Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana
Dr. Amien Widodo

Abstrak

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat naiknya tekanan pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah akibat beban siklis dinamis. Wilayah kecamatan Puger merupakan daerah yang memiliki dataran alluvial pantai yang luas dan rawan terjadi gempabumi karena terletak pada jalur tektonik sehingga berpotensi mengalami likuifaksi. Analisis mikrotremor menggunakan metode HVSR dilakukan di wilayah kecamatan Puger untuk memetakan potensi likuifaksi di daerah tersebut. Dari pengukuran mikrotremor yang telah dilakukan, didapatkan hasil berupa sebaran nilai frekuensi natural 0,3 – 1,4 Hz, nilai faktor amplifikasi gelombang di daerah penelitian memiliki nilai yang berkisar antara 2,6 – 9,1, ketebalan dari lapisan sedimen di lokasi penelitian didapatkan hasil yang berkisar antara 36-169 meter. Indeks kerentanan seismik (Kg) pada penelitian ini berkisar 14,4 – 120. Indeks kerentanan tinggi berada di sepanjang wilayah pesisir bagian Selatan kecamatan Puger.

Kata Kunci : Likuifaksi, metode HVSR, frekuensi natural, faktor amplifikasi, ketebalan lapisan sedimen, indeks kerentanan seismik, kecamatan Puger

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LIQUEFACTION POTENTIAL BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENT CASE STUDY PUGER SUBDISTRICT, JEMBER REGENCY

Nama : Muhammad Reza Shalahuddin Noor
NRP : 3713100001
Jurusan : Teknik Geofisika
Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana
Dr. Amien Widodo

Abstract

Liquefaction is a phenomenon of soil strength loss due to increased pore pressure and decreased effective pressure of the soil layer due to dynamic cyclic load. Puger subdistrict coastal area is an area that has a broad coastal alluvial plains and prone to occur because the earthquake is located on the path tectonic so prone to liquefaction occurs. The microtremor analysis using the HVSR method was conducted in the coastal area of Puger subdistrict to map potential liquefaction in the coastal area. From the measurements of mikrotremor that has been done, obtained the result of the distribution of natural frequency value 0.3 - 1.4 Hz, wave amplification factor value in the research area has a value ranging from 2.6 to 9.1, the thickness of the sediment layer at the study site obtained results ranging from 36-169 meters. The seismic vulnerability index (Kg) in this study ranged from 14.4 to 120. The high vulnerability index was located along the southern coastal areas of Puger subdistrict.

Keywords : Liquefaction, HVSR method, natural frequency, amplification factor, thickness of the sediment layer, vulnerability index, Puger subdistrict

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

Kata Pengantar

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Potensi Likuifaksi Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Studi Kasus Kecamatan Puger, Jember” ini dapat terselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, serta semua keluarga atas dukungan yang sangat besar selama penulis menjalani Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana dan Bapak Dr. Amien Widodo selaku pembimbing di Departemen Teknik Geofisika yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
4. Bapak Arief, mas Dika, mbak Ine, Nizar, Amir, Imam, Novritsa, Ujang yang sudah membantu begitu banyak pada saat akuisisi data di lapangan.
5. Staf dan karyawan Departemen Teknik Geofisika ITS, atas bantuan teknis yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS.
6. Teman-teman “TG2 kabeh dulur” .
7. Seluruh Mahasiswa Teknik Geofisika ITS yang telah menjadi bagian penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Geofisika ITS.
8. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas do’a dan dukungannya.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan semua pihak diatas dengan sebaik- baiknya balas. Penulis menyadari tentunya penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 4 Juli2017

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
Abstrak	xi
Abstract	xiii
Kata Pengantar.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Seismisitas dan Seismotektonik Wilayah Jember	5
2.2. Geologi dan Geomorfologi Wilayah Jember	6
2.3. Gelombang Mikrotremor	8
2.4. Frekuensi Natural (f_0).....	9
2.5. Amplifikasi (A_0).....	9
2.6. Likuifaksi dan Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi	11
2.6.1 Pengertian Likuifaksi.....	11
2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi	14
2.6.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data CPT	15
2.6.4 Mikrotremor untuk Menentukan Potensi Likuifaksi.....	15
2.6.5 Analisis HVSr Mikrotremor	16
2.6.6 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	19

2.6.7 Hubungan Efektif Shear-Strain dengan Indeks Kerentanan Seismik (Kg)	21
2.7. Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Pengolahan Data.....	26
3.3 Lokasi Penelitian.....	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Analisa Data	31
4.1.1 Pemilihan Event Data Gelombang	31
4.1.2 Kurva H/V	31
4.2 Perhitungan	32
4.3 Pembahasan.....	32
4.3.1 Peta Sebaran Nilai Frekuensi Natural	32
4.3.2 Peta Sebaran Ketinggian Muka Air Tanah.....	35
4.3.3 Peta Sebaran Nilai Ketebalan Sedimen (h)	37
4.3.4 Validasi Nilai Vs.....	39
4.3.5 Peta Sebaran Nilai <i>Peak Amplitude</i> (Ao)	42
4.3.6 Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	45
4.3.7 Peta Sebaran Nilai Efektif Shear-Strain	47
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN 1	55
LAMPIRAN 2	56
LAMPIRAN 3	57
BIOGRAFI PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Seismotektonik Jawa Bali	5
Gambar 2.2 Peta geologi daerah penelitian	7
Gambar 2.3 Peta percepatan gelombang gempa di batuan dasar	8
Gambar 2.4 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik	10
Gambar 2.5 Grafik hubungan C_N dan tegangan efektif tanah.....	12
Gambar 2.6 Grafik hubungan Q_C dan CSR terhadap potensi terjadinya likuifaksi	14
Gambar 2.7 Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR.....	17
Gambar 2.8 Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) setelah gempa di Loma Prieta tahun 1989	20
Gambar 2.9 <i>Surface ground strain</i>	22
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data	26
Gambar 3.3 Kriteria reliabel SESAME (2004)	28
Gambar 3.4 Lokasi penelitian	29
Gambar 4.1 Pemilihan event data gelombang	31
Gambar 4.2 Kurva H/V	32
Gambar 4.3 Persebaran nilai frekuensi natural	34
Gambar 4.4 Persebaran nilai ketinggian muka air tanah.....	36
Gambar 4.5 Persebaran nilai ketebalan sedimen	38
Gambar 4.6 Perlapisan tanah berdasarkan nilai V_s pada line A	40
Gambar 4.7 Perlapisan tanah berdasarkan nilai V_s pada line B.....	40
Gambar 4.8 Perlapisan tanah berdasarkan nilai V_s pada line C.....	41
Gambar 4.9 Perlapisan tanah berdasarkan nilai V_s pada line D	41
Gambar 4.10 Persebaran nilai peak amplitude.....	44
Gambar 4.11 Persebaran nilai indeks kerentanan seismik (K_g).....	46
Gambar 4.12 Persebaran nilai efektif <i>shear-strain</i>	48

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan antara kepadatan, <i>relative density</i> , nilai N-SPT, Q_c dan \emptyset	15
Tabel 2.2 Hubungan nilai efektif <i>shear-strain</i> dengan fenomena yang ditimbulkan oleh gempa bumi	21
Tabel 4.1 Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) suatu batuan	42

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peristiwa gempa bumi sering kali menimbulkan kerusakan pada bangunan yang terletak jauh dari sumber gempa. Perbedaan tingkat kerusakan pada bangunan mengindikasikan bahwa kondisi lapisan tanah memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik gelombang seismik. Lapisan tanah lunak akan mengamplifikasi frekuensi-frekuensi tertentu dari getaran gempa bumi. Kondisi ini dapat terjadi dengan sangat ekstrem di wilayah yang dilandasi oleh lapisan tanah lunak yang tebal, sehingga terdapat perubahan kekakuan material pada batas antara lapisan batuan dasar dan tanah lunak yang dapat menimbulkan amplifikasi (Tohari dkk, 2013).

Kabupaten Jember merupakan daerah yang sering terjadi aktivitas seismik yang signifikan dirasakan sejak tahun 1981 hingga 2016. Salah satu peristiwa gempa bumi yang terjadi tahun 2016 (M 6.2) menimbulkan kerusakan ringan hingga berat pada bangunan dan infrastruktur jalan di kota Jember. Hubungan intensitas gempa bumi terhadap kerusakan suatu wilayah dipengaruhi oleh jarak dari sumber gempa, skala gempa, ukuran zona patahan, energi yang dilepaskan batuan, jenis geologi antara sumber dan lokasi setempat serta kondisi geologi lokal (Towhata, 2008). Besar percepatan dan kecepatan maksimum energi gempa dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Seperti diungkapkan Daryono, dkk (2009) bahwa kerusakan bangunan dipengaruhi oleh frekuensi natural dan sebanding dengan faktor amplifikasi yang terjadi karena gelombang multirefleksi pada lapisan sedimen. Kedua parameter ini tergantung pada nilai kecepatan gelombang geser (V_s) di bawah permukaan. Nilai V_s pada permukaan yang diperoleh dari kurva inversi HVSr yang digunakan untuk klasifikasi tanah berdasarkan kekuatan getaran gempa yang disebabkan efek lokal (Roser dan Gosar, 2010).

Fenomena likuifaksi merupakan fenomena ketika kekuatan dan kekakuan tanah berkurang dikarenakan gempa atau pergerakan tanah lainnya. Hal ini merupakan suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi getaran gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Daerah zona lemah dan ditambah fenomena likuifaksi

menyebabkan pondasi rumah dan bangunan tinggi mengalami penurunan, retakan pada badan jalan dan tanggul sungai maupun perpindahan lateral dan longsoran (Tohari dkk, 2011). Hasil penelitian Tohari, dkk (2011) menunjukkan bahwa fenomena likuifaksi terjadi karena keberadaan lapisan pasir jenuh air dengan kepadatan yang bervariasi dari lepas hingga medium hingga kedalaman 10 m.

Mempertimbangkan bahwa zona lemah dan fenomena likuifaksi akan menjadi ancaman ikutan saat gempa bumi besar terjadi di wilayah kabupaten Jember, maka pengetahuan karakteristik dinamik setiap lokasi yang mengalami likuifaksi diperlukan untuk menentukan struktur bangunan tahan likuifaksi.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat disusun perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan besarnya frekuensi natural, faktor amplifikasi tanah di wilayah kecamatan Puger dengan menggunakan mikrotremor?
2. Bagaimana menentukan sebaran indeks kerentanan tanah di wilayah kecamatan Puger dengan menggunakan mikrotremor?
3. Bagaimana menentukan sebaran potensi likuifaksi akibat dari gempa setempat di wilayah kecamatan Puger dengan menggunakan mikrotremor?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Memetakan distribusi frekuensi natural dan faktor amplifikasi di kecamatan Puger.
2. Memetakan indeks kerentanan seismik (K_g) di kecamatan Puger.
3. Memetakan daerah yang berpotensi likuifaksi di kecamatan Puger.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini cakupan ruang lingkup permasalahan dibatasi pada studi mikrozonasi dan analisis likuifaksi berdasarkan data mikrotremor.

1.5. Sistematika Penulisan

Secara garis besar, sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

- Bab I Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan laporan.

- Bab II Dasar teori, meliputi teori sebagai landasan penyusunan tugas akhir.
- Bab III Metodologi, merupakan prosedur kerja yang digunakan dalam tugas akhir.
- Bab IV, Analisa Data dan Pembahasan, merupakan suatu tahap pengolahan dan analisa data yang didapatkan selama tugas akhir.
- Bab V Penutup, merupakan bagian penutup tugas akhir yang meliputi Kesimpulan dan Saran.

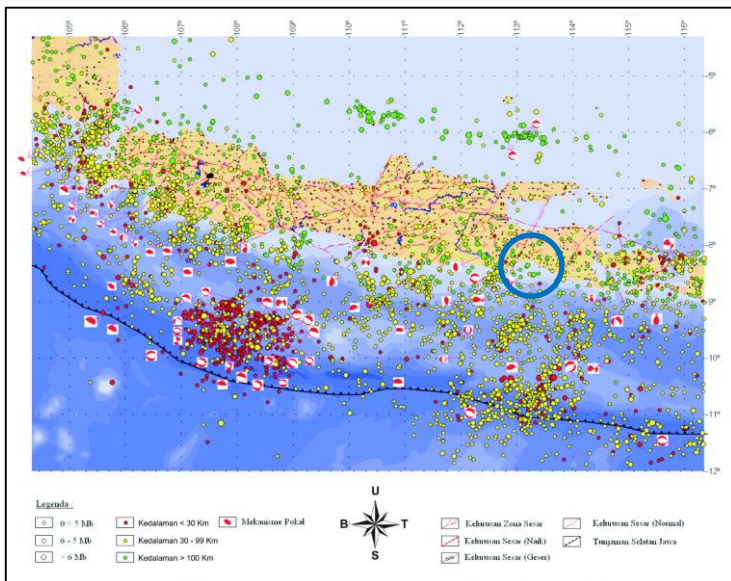
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Seismisitas dan Seismotektonik Wilayah Jember

Kegempaan regional wilayah Jawa dapat dibagi atas dua kelompok kegempaan, yakni kegempaan lajur tunjaman Selatan Jawa dan kegempaan lajur sesar aktif Jawa. Gempa bumi lajur tunjaman Jawa dijumpai berkedalaman dangkal hingga dalam (0-400 km). Gempa bumi di lajur tunjaman ini umumnya tercatat berkekuatan >4 SR. Gempa bumi berkekuatan besar di wilayah Jawa ini dapat mencapai 8,5 SR terutama di Jawa bagian Barat. Sedangkan yang berkekuatan 5-6 SR sering terjadi di wilayah Jawa bagian Selatan (NEIC, USGS, 2006).



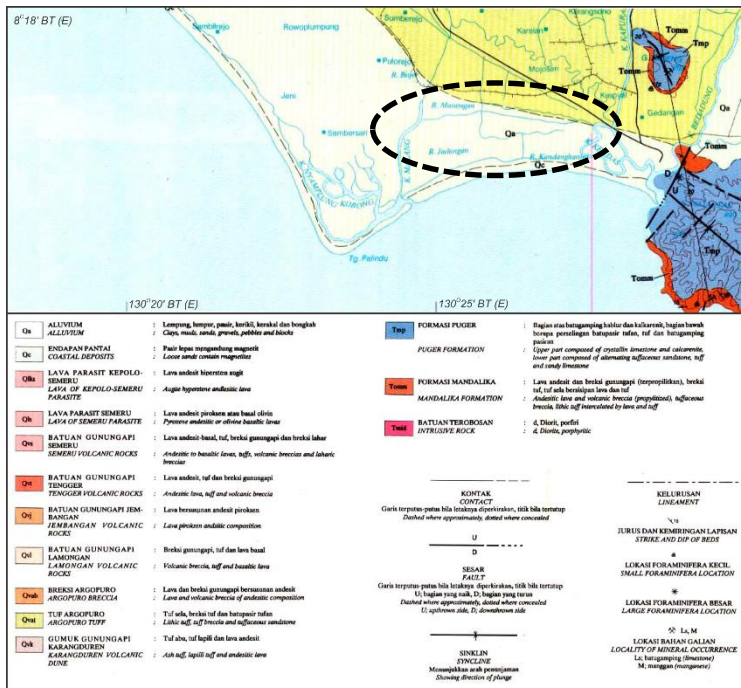
Gambar 2.1 Peta seismotektonik Jawa dan Bali
(Soehaimi, 2008)

Wilayah Jawa ini merupakan daerah rawan bencana gempa bumi Indonesia No. VI, VII, VIII, dan IX. Lajur seismotektonik sesar aktif daratan Jawa berkaitan erat dengan keberadaan struktur sesar aktif di antaranya lajur

seismotektonik sesar aktif Banten, lajur seismotektonik sesar aktif Cimandiri, lajur seismotektonik sesar aktif Citarik, lajur seismotektonik sesar aktif Baribis, lajur seismotektonik sesar aktif Citanduy, lajur seismotektonik sesar aktif Bumiayu, lajur seismotektonik sesar aktif Kebumen-Semarang-Jepara, lajur seismotektonik sesar aktif Lasem, lajur seismotektonik sesar aktif Rawapening, lajur seismotektonik sesar aktif Opak, lajur seismotektonik sesar aktif Pacitan, lajur seismotektonik sesar aktif Wonogiri, lajur seismotektonik sesar aktif Pasuruan, lajur seismotektonik sesar aktif Jember. Peta seismotektonik daerah penelitian diperlihatkan dalam Gambar (2.1) dengan lingkaran biru (Soehaimi, 2008). Tercatat sejak tahun 2006 sampai 2017 terdapat 1032 kejadian gempa dengan magnitudo 3,3-7,7 SR. Sedangkan pada daerah Selatan Jember tercatat 146 kejadian gempa dengan magnitudo 3,3-5,9 SR sejak tahun 2006 sampai 2017 (earthquake.usgs.gov).

2.2. Geologi dan Geomorfologi Wilayah Jember

Kondisi wilayah Jember secara umum dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu perbukitan, daratan, dan pesisir. Sedangkan penelitian ini dilakukan di dataran yang disusun oleh alluvium dan alluvium pantai. Lokasi penelitian terletak di wilayah pesisir pantai Puger, yang menjadi tempat bermuaranya sungai Bedadung dan sungai Besini. Peta Geologi daerah penelitian dapat di lihat pada Gambar (2.2), dengan daerah penelitian ditunjukkan dengan lingkaran hitam. Kondisi geografis kabupaten Jember memiliki pegunungan Argopuro di Utara, gunung Raung di Timur laut, sementara di Selatan-Timur ada pegunungan yang membentang dari Timur ke Barat.

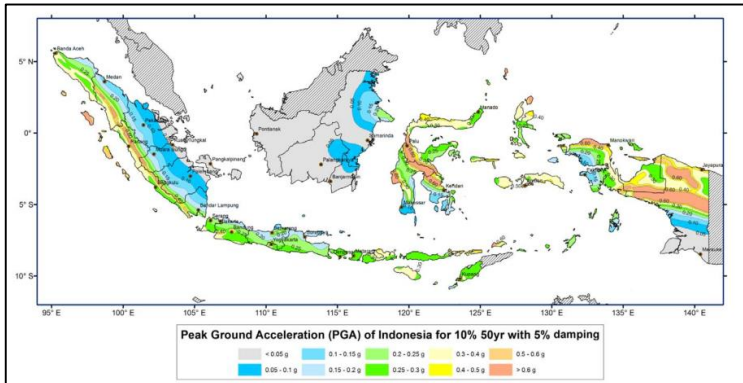


Gambar 2.2 Peta formasi geologi daerah penelitian
(Suwarti dan Suharsono, 1992)

Berdasarkan peta geologi lembar Lumajang, Jawa (Suwarti dan Suharsono, 1992), dapat diketahui bahwa batuan di daerah lokasi penelitian terdiri dari beberapa formasi diantaranya;

- Endapan pantai (Qc), terdiri dari pasir lepas yang mengandung magnetit.
- Aluvium (Qa), terdiri dari perselingan kerakal, kerikil, pasir dan lumpur.
- Tuf argopuro (Qvat), tersusun atas tuf sela, breksi tuf dan batupasir tufan.

Menurut Irsyam dkk (2010) pada Gambar (2.3) wilayah kecamatan Puger digolongkan dalam zona kegempaan kelas 5 dengan nilai Peak Ground Acceleration (PGA) sebesar 0.2-0.25 g. Nilai PGA dibuat berdasarkan sumber gempa, sejarah kegempaan, dan keberadaan tektonik lempeng sekitar tempat tersebut.



Gambar 2.3 Peta percepatan gempa di batuan dasar Indonesia
PGA ($T = 0$ detik) untuk 10% *PE* 50 tahun (Irsyam dkk, 2010)

2.3. Gelombang Mikrotremor

Mikrotremor merupakan salah satu metode seismik pasif untuk merekam getaran yang dihasilkan oleh bumi seperti aktivitas vulkanik, gelombang, kondisi regional meteorologi, aktivitas manusia dan sebagainya. Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Misalnya akibat aktivitas getaran mesin-mesin pabrik, angin, getaran mobil, gelombang laut, maupun getaran alamiah dari tanah. Mikrotremor mempunyai periode secara umum antara 0,05 - 2 detik dan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi. Gelombang mikrotremor dapat dipakai untuk mengetahui jenis tanah (*top soil*) berdasarkan tingkat kekerasannya. Semakin kecil nilai periode natural tanah maka tingkat kekerasan tanah akan semakin besar, begitu pula sebaliknya apabila nilai periode natural tanah semakin besar maka tanah tersebut semakin lunak. Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain akan dibandingkan dengan yang terekam pada *hard rock* sehingga akan didapatkan *respon site* terhadap mikrotremor. Pendekatan kedua diperkenalkan oleh Nakamura (1989) bersamaan dengan metode analisisnya. Nakamura menemukan bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi resonansi dan akan menunjukkan puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura mengasumsikan bahwa

H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*) (Nakamura 1989).

Untuk metode Nakamura, diperlukan seismometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen EW (*East-West*), NS (*North-South*), dan komponen vertikal (*Up-Down*). Spektrum *ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon lokasi khususnya frekuensi dari puncak utama atau frekuensi resonansi lapisan sedimen. Respon lokasi pada daerah sedimen sangat berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser. Oleh karena itu, respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektrum dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen (Nakamura, 2008).

2.4. Frekuensi Natural (f_o)

Nilai frekuensi natural dari pengolahan HVSR menyatakan frekuensi alami yang terdapat di daerah tersebut. Hal ini menyatakan apabila terjadi gempa dengan getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Batasan pengamatan frekuensi untuk mikrotremor secara umum antara 0,5-20 Hz dan untuk mikrotremor frekuensi kecil bisa mencapai 0,2 Hz. Nilai frekuensi natural suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen dan kecepatan rata-rata bawah permukaan (Nakamura, 2000).

$$f_o = \frac{V_s}{4h} \quad (2.1)$$

f_o = nilai frekuensi natural,

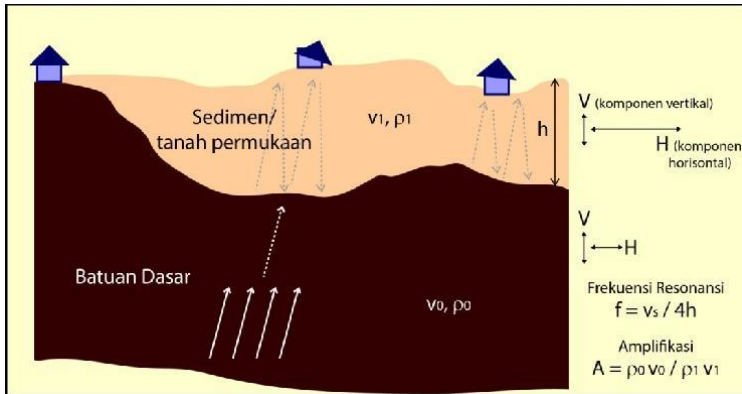
V_s = gelombang geser,

h = kedalaman.

2.5. Amplifikasi (A_o)

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan densitas yang signifikan antar lapisan. Dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran amplitudo apabila merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih keras dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan densitas dari lapisan

keras dan lapisan lunak, maka amplifikasi yang dialami gelombang seismik tersebut akan semakin besar.



Gambar 2.4 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Nakamura, 1989)

Amplifikasi gelombang seismik dapat terjadi ketika gelombang merambat ke permukaan tanah sedangkan frekuensi natural tanah memiliki nilai yang hampir sama dengan frekuensi gempa. Fenomena amplifikasi gelombang seismik oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas lapisan keras berkaitan dengan perbedaan densitas, kecepatan V_0 dan V_1 . Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen yaitu ketebalan (h) dan kecepatan gelombang geser (V_s) (Nakamura, 1989).

Menurut Nakamura (2000), nilai amplifikasi tanah berkaitan dengan perbandingan kontras densitas lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras densitas kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya. Amplifikasi juga berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah apabila suatu batuan telah mengalami deformasi yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi pada tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010).

Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras densitas,

$$A_o = \frac{\rho_o V_o}{\rho_1 V_1} \quad (2.2)$$

dimana,

ρ_I = densitas batuan dasar (kg/m^3),

v_I = kecepatan rambat gelombang di batuan dasar (m/s),

ρ_o = densitas batuan sedimen (kg/m^3),

v_o = kecepatan rambat gelombang di batuan sedimen (m/s).

Menurut Towhata (2008), ada 4 penyebab amplifikasi gelombang seismik pada suatu daerah adalah:

- Adanya lapisan sedimen yang terlalu tebal di atas lapisan keras,
- Frekuensi natural tanah (f_o) yang rendah,
- Frekuensi natural gempa dengan geologi setempat hampir sama,
- Gelombang gempa terjebak di dalam lapisan sedimen dalam waktu yang lama.

Amplifikasi merupakan faktor penting yang digunakan untuk mengestimasi efek lokal yang diakibatkan oleh gempa bumi adalah hubungan antara frekuensi natural suatu bangunan dengan frekuensi natural lapisan tanah di bawahnya. Sehingga dapat diketahui nilai resonansi bangunan yang nantinya bisa diperkirakan tingkat kerentanannya terhadap gelombang seismik.

2.6. Likuifaksi dan Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

2.6.1 Pengertian Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang ditimbulkan akibat beban siklus dinamis. Bahaya likuifaksi ditimbulkan oleh gempa yang terjadi pada karakteristik tanah tertentu, yang mengakibatkan naiknya tegangan air pori tanah itu sendiri. Saat likuifaksi berlangsung, kekuatan tanah menurun dan kemampuan deposit tanah untuk menahan beban menurun. Tegangan efektif tanah akibat beban siklik yang diterima tanah dengan karakteristik berbutir, jenuh air dan kepadatan sedang sampai lepas, dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari *solid* ke *liquid* sehingga tegangan tanah menjadi nol.

Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, tilting pada bangunan, *ground cracking*, kelongsoran, dan merusakkan sarana publik. Sebagai contoh saat gempa bumi Nigata 1964, Kobe 1995, Turki 2002, Taiwan

1999, India 2001, Maumere 1 Desember 1992, Aceh dan Nias 26 Desember 2004, Bengkulu, 2000, Jogjakarta 27 Mei 2006 yang diikuti dengan fenomena peristiwa likuifaksi. Pengetahuan potensi dan kerawanan likuifaksi sangat penting untuk melakukan usaha mitigasi yang disesuaikan dengan derajat kerentanan suatu wilayah terhadap bahaya likuifaksi (Soebowo dkk, 2007).

Menurut Seed dan Idriss (1971), ntuk menentukan kriteria likuifaksi pada deposit tanah dipengaruhi oleh dua parameter yaitu perlawanan terkoreksi (Q_{c1}) dan rasio tegangan siklik (CSR). Persamaan konus menurut Seed dan Idriss (1971) adalah:

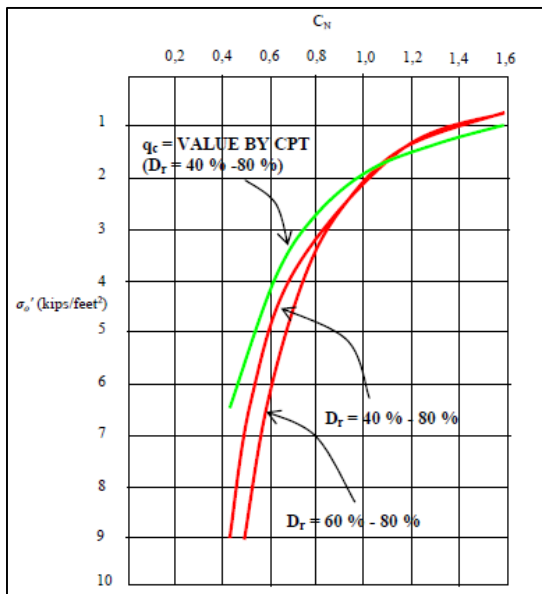
$$Q_{c1} = C_N \times Q_c \quad (2.3)$$

dimana,

Q_{c1} = perlawanan konus terkoreksi (kg.cm^2)

Q_c = perlawanan konus (kg.cm^2)

C_N = faktor koreksi (gambar 2.5)



Gambar 2.5 Grafik hubungan C_N dan tegangan efektif tanah (Seed dan Idriss, 1982)

Parameter yang kedua adalah rasio tegangan siklik (*cyclic stress ratio*) yang merupakan sebuah variabel yang digunakan untuk mendefinisikan gejala kegempaan yang terjadi pada lapisan tanah. Perhitungan nilai CSR dirumuskan oleh Seed dan Idriss (1971) sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \times \left\{ \frac{\alpha_{max} \times \sigma_o}{g \times \sigma_{o'}} \right\} \times r_d \quad (2.4)$$

dimana,

σ_o = tekanan total pada tanah (kg/cm²)

$\sigma_{o'}$ = tekanan efektif tanah (kg/cm²)

g = percepatan gravitasi (mm/s)

α_{max} = percepatan maksimum tanah (gal)

r_d = reduksi tegangan

Nilai r_d merupakan reduksi tegangan pada suatu kedalaman yang digunakan untuk mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR. Liao dan Whitman (1986) mengusulkan formulasi untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2.5)$$

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < z < 23 \text{ m} \quad (2.6)$$

Analisa potensi likuifaksi juga membutuhkan suatu variabel yang diinterpretasikan dalam sebuah persamaan yang mendefinisikan kapasitas tanah sebagai tahanan likuifaksi (CRR). Robertson dan Wride (1998) membuat grafik hubungan CRR dengan nilai Q_{c1} terkoreksi (gambar 2.6) pada pasir halus dengan FC (*fine content*) $\leq 5\%$ dan magnitude gempa yang terjadi sebesar 7,5 SR. Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan nilai CRR pada tanah yaitu:

$$\text{Jika, } Q_{c1} < 50, CRR_{7,5} = 0,833(Q_{c1}/1000) + 0,05 \quad (2.7)$$

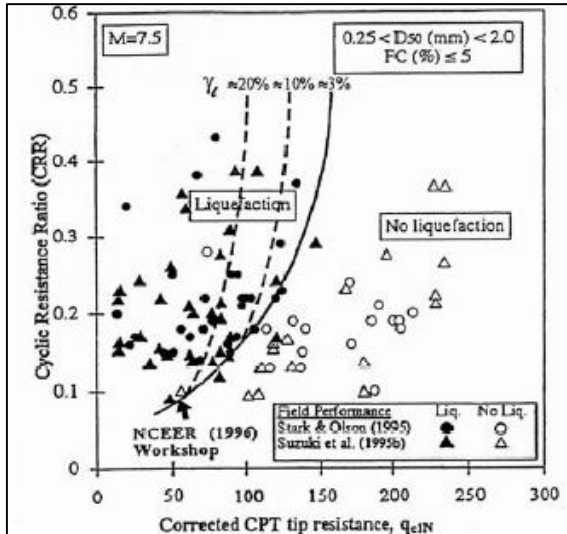
$$\text{Jika, } 50 < Q_{c1} < 160, CRR_{7,5} = 0,833(Q_{c1}/1000)^3 + 0,08 \quad (2.8)$$

Nilai CRR tanah digunakan untuk menentukan faktor keamanan (*safety factor*) dari karakteristik tanah yang dapat diperoleh dengan membandingkan nilai CSR dan CRR melalui persamaan (2.9).

$$FSL = (CSR/CRR)MSF \quad (2.9)$$

Dimana nilai MSF (*Magnitude Scaling Factor*) dihitung menggunakan persamaan yang diberikan oleh dari Youd, dkk (2001) yaitu:

$$MSF = 10^{2.24} / M^{2.56} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6 Grafik hubungan Q_c dan CRR terhadap potensi likuifaksi (Robertson dan Wride, 1998)

Material untuk terjadinya zona likuifaksi umumnya di daerah endapan pasir atau soil yang lepas, lanau dan memiliki karakter granular jenuh air dengan kepadatan rendah, non kohesif, tekanan air pori dalam sedimen matrik, muka air tanah dangkal dan di daerah dengan kemungkinan pergerakan permukaan ko-seismik melebihi nilai batas ambangnya karena adanya getaran tanah seketika akibat gempa bumi (Seed dan Idriss, 1971).

2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

Menurut Monge dkk (1998) ada beberapa faktor yang menyebabkan likuifaksi :

- Faktor Permanen

Faktor permanen dari peristiwa likuifaksi ini adalah karaktersitik serta parameter tanah itu sendiri. Misalnya seperti pada pulvarent (*quicksand*) apabila tanah tersebut terkena tekanan, dimana tekanan tersebut disebabkan oleh peningkatan

tekanan pori tanah akibat bertambahnya atau berkurangnya kandungan air di tanah tersebut.

- **Faktor Pemicu**

Faktor pemicu utama terjadinya peristiwa likuifaksi adalah terjadinya gempa bumi dan beban siklis yang disebabkan oleh gelombang air laut pada suatu daerah tertentu. Di mana energi yang ditimbulkan tersebut dapat menyebabkan tanah kehilangan kohesivitas dan akan membuat tanah mengalami likuifaksi.

2.6.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data CPT

Alat sondir atau CPT memberikan tekanan konus dengan atau tanpa hambatan pekat (*friction resistance*) yang dapat dikorelasikan pada parameter tanah seperti undrained shear strength, kompresibilitas tanah dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah. Hubungan antara kepadatan tanah dengan *relative density*, nilai N-SPT, Q_c , dan ϕ adalah sebanding. Hal ini dapat terlihat dalam tabel (2.1).

Tabel 2.1 Hubungan Antara Kepadatan, *Relative Density*, Nilai N-SPT, Q_c dan ϕ (Meyerhoff, 1965)

Kepadatan	Relative Density (γ_d)	Nilai N-SPT	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Sudut Geser (ϕ)
Very loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose (lepas)	0,2-0,4	4-10	20-40	30-35
Medium Dense (agak kompak)	0,4-0,6	40-120	40-120	35-40
Dense (kompak)	0,6-0,8	30-50	120-200	40-45
Very dense (sangat kompak)	0,8-1,0	> 50	> 200	> 45

2.6.4 Mikrotremor untuk Menentukan Potensi Likuifaksi

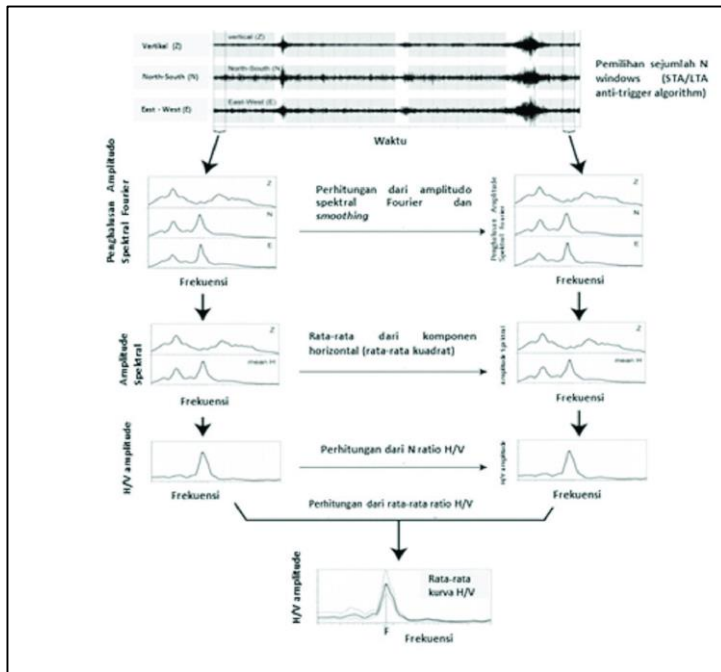
Mikrotremor merupakan alat yang dapat mengukur gerakan tanah yang lemah dengan amplitude gerakan 0,1- 1 μ m dari kisaran periode antara 1/10 dari 1s sampai 10s (Bard, 1999). Para ilmuwan Jepang telah berulang kali mencatat korelasi antara spektral pada mikrotremor dengan kondisi geologi. Pada umumnya mereka mengamati bahwa periode dominan dari mikrotremor (> 0,2s)

menunjukkan batuan keras, sedangkan periode yang panjang menunjukkan batuan yang lebih lunak dan memiliki deposit yang tebal.

Penelitian tentang mikrotremor untuk memetakan potensi likuifaksi misalnya dari (Huang and Tseng, 2002). Pengukuran tersebut dilakukan di daerah Yuan-Lin, Taiwan Tengah, dimana peristiwa likuifaksi ini sangat jelas teramati pada gempa Chi-Chi. Hasilnya menunjukkan di daerah zona likuifaksi frekuensi natural berkisar antara 0,8-0,9 Hz dengan faktor amplifikasi yang lebih tinggi di daerah sekitar zona yang berpotensi mengalami likuifaksi. Menurut Nakamura (1996) indeks kerentanan seismik (K_g) juga berpengaruh dan didapatkan nilai K_g lebih tinggi di zona likuifaksi. Beroya dan Aydin (2007) menggunakan mikrotremor untuk memetakan potensi likuifaksi di daerah Laog City Filipina Selatan dan juga diperkuat dengan penelitian yang dilakukan (Hardesty dkk, 2010) di Madrid bahwa mikrotremor dapat digunakan untuk mengestimasi potensi likuifaksi di suatu tempat.

2.6.5 Analisis HVSR Mikrotremor

Metode HVSR ditemukan oleh ilmuwan Jepang yaitu Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971. Kemudian Nakamura (1989) mengusulkan bahwa metode ini dapat digunakan untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan-perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989). Terdapat dua parameter penting yang didapatkan dari hasil pengolahan metode ini antara lain frekuensi natural (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Kedua parameter ini merupakan implementasi dari karakterisasi geologi setempat (Nakamura, 1989).



Gambar 2.7. Ilustrasi pengolahan data mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*

Metode HVSR merupakan metode yang membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Mikrotremor terdiri dari ragam dasar gelombang Rayleigh, dan periode puncak perbandingan H/V yang memberikan dasar untuk periode gelombang geser (*S-wave*). Perbandingan H/V pada mikrotremor merupakan perbandingan dua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Metode HVSR digunakan untuk menentukan nilai amplifikasi dan nilai periode dominan suatu lokasi yang dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V mikrotremor (Nakamura, 2000).

Berdasarkan penelitian Sungkono dan Santosa (2011), untuk mengetahui karakter geologi yang dapat merusak bangunan akibat gempa bumi, maka perlu dilakukan kajian literatur dan karakterisasi HVSR. Hasilnya, kerusakan bangunan akibat gempa bumi terjadi pada parameter HVSR amplifikasi tinggi dan frekuensi rendah. Amplifikasi berbanding lurus dengan kontras densitas

(kecepatan gelombang geser (V_s) dikalikan densitas) antara sedimen dan batuan dasar, kecepatan gelombang primer (V_p) dan faktor quasi gelombang geser (Q_s).

Metode HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser pada medium sedimen di atas batuan dasar. Berdasarkan kondisi tersebut, Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) pada mikrotremor, dimana efek penguatan gelombang pada komponen horizontal dapat dinyatakan oleh persamaan berikut,

$$SE = HS / HB \quad (2.11)$$

SE = efek penguatan gelombang pada komponen horizontal.

HS = spektrum mikrotremor komponen horizontal di permukaan.

HB = spektrum mikrotremor komponen horizontal di batuan dasar.

Penguatan gelombang pada komponen vertikal dapat dinyatakan sebagai rasio spektrum komponen vertikal di permukaan dan di batuan dasar yaitu,

$$AS = VS / VB \quad (2.12)$$

AS = efek penguatan gelombang pada komponen vertikal.

VS = spektrum mikrotremor komponen vertikal di permukaan.

VB = spektrum mikrotremor komponen vertikal di batuan dasar.

Untuk mereduksi efek sumber, maka spektrum penguatan horizontal SE dilakukan normalisasi terhadap spektrum sumber AS yaitu,

$$SM = SE / AS \quad (2.13)$$

$$SE / AS = (HS / VS) / (HB / VB) \quad (2.14)$$

Nakamura (1989) juga menyatakan bahwa rasio antara HB/VB mendekati 1. Hal ini didapatkan dari pengukuran mikrotremor pada lubang bor pada penelitian Nakamura.

Dimana SM = fungsi transfer untuk lapisan tanah. Jika, HB/VB = 1 maka,

$$SM = HS / VS \quad (2.15)$$

Dalam pengamatan di lapangan ada dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen Utara-Selatan dan komponen Barat-Timur, sehingga persamaannya berubah menjadi,

$$SM = \frac{\sqrt{(HSN^2 + HWE^2)}}{VS} \quad (2.16)$$

Dimana,

HSN = spektrum mikrotremor komponen horizontal Utara-Selatan.

HWE = spektrum mikrotremor komponen Barat-Timur.

Dalam penggunaan HVSR, digunakan beberapa asumsi antara lain, (Nakamura, 2008)

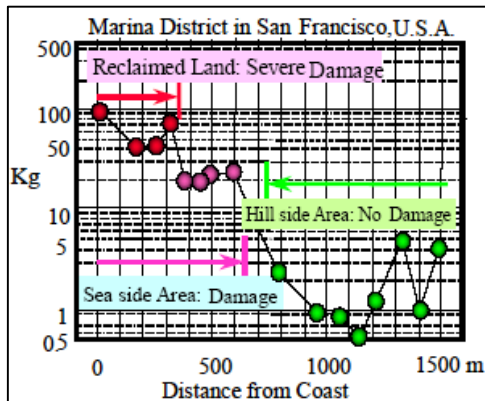
- Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser.
- Komponen vertikal gelombang tidak mengalami amplifikasi lapisan sedimen dan hanya komponen horisontal yang mengalami amplifikasi.
- Tidak ada amplitudo yang berlaku dengan arah yang spesifik pada lapisan batuan dasar dengan getaran ke segala arah.
- Gelombang Rayleigh diasumsikan sebagai noise mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang Rayleigh.

Nakamura (1989) mengidentifikasi bahwa jika diasumsikan gelombang geser dominan pada mikrotremor, maka rasio spektrum horisontal terhadap vertikal (HVSR) pada data mikrotremor suatu tempat sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat. Nakamura menduga bahwa mikrotremor berperiode pendek sebagian besar terdiri dari gelombang geser dan gelombang permukaan dianggap sebagai *noise*. Dari hasil analisis data gempa menunjukkan bahwa nilai maksimum rasio getaran horizontal dan vertikal dalam setiap pengamatan ($\Delta H/\Delta V$) memiliki keterkaitan dengan kondisi tanah (Nakamura, 1989).

2.6.6 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) merupakan suatu parameter yang sangat berhubungan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman resiko gempa bumi. Nilai Kg di suatu daerah dan tingkat resiko gempa bumi terhadap kerusakan akibat gempa bumi menunjukkan adanya hubungan yang linier. Jika suatu daerah memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi maka tingkat

resiko gempa buminya juga akan tinggi. Dalam penentuan nilai indeks kerentanan seismik suatu daerah, faktor-faktor kondisi geologi daerah setempat sangat perlu dipertimbangkan (Roser dan Gosar, 2010).



Gambar 2.8. Nilai indeks kerentanan seismik (Kg) setelah gempa di Loma Prieta tahun 1989 (Nakamura, 1997)

Gambar 2.8 menunjukkan distribusi nilai Kg di San Francisco setelah gempa di Loma-Prieta tahun 1989. Untuk daerah di sepanjang garis pantai sampai di bukit bisa dilihat bawah Nilai Indeks Kerentan (Kg) di atas 20 mengalami kerusakan yang parah, sedangkan daerah yang tidak mengalami kerusakan memiliki nilai Kg yang kecil. Dengan mempertimbangkan nilai kecepatan basement di area tersebut sebesar 50 gal (menurut pengamatan), nilai $Kg = 1000 \times 10^{-6}$ dapat mengidentifikasi daerah yang mengalami likuifaksi.

Tingkat indeks kerentanan seismik yang tinggi biasanya ditemukan pada daerah dengan frekuensi natural tanah yang rendah. Ini berarti bahwa, pada lapisan sedimen relatif tebal yang menutupi batuan dasar memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi. Pada lapisan sedimen tebal, jika disertai dengan penguatan getaran gelombang geser seismik (faktor amplifikasi) tinggi, maka akan menghasilkan nilai indeks kerentanan yang tinggi pula (Hadi dkk, 2012). Indeks kerentanan seismik yang diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor (A_0) dibagi frekuensi natural (f_0) yang dirumuskan oleh Nakamura (2000) sebagai berikut:

$$Kg = \frac{Ao^2}{fo} \tag{2.17}$$

2.6.7 Hubungan Efektif Shear-Strain dengan Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Nilai efektif shear-strain turut berpengaruh terhadap kondisi setelah terjadinya gempa seperti yang ditunjukkan pada tabel (2.2) yang menunjukkan apabila nilai efektif shear-strain (γ) = 1000 x 10⁻⁶ maka tanah akan bersifat plastis. Apabila γ > 10.000 x 10⁻⁶ akan terjadi deformasi, kelongsoran ataupun likuifaksi (Nakamura, 1997).

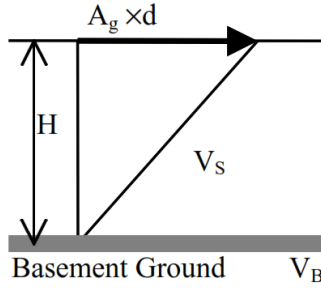
Tabel 2.2 Hubungan nilai efektif *shear-strain* dengan fenomena yang ditimbulkan oleh gempa bumi (Nakamura,1997)

Size of Strain γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Phenomena	Waves, vibration		Crack, settlement		Landslide, soil compaction, liquefaction	
Dynamic Properties	Elasticity		Elastoplasticity		Collapse	
			Repeat-effect, speed-effect of loading			

Bentuk sederhana dari deformasi *shear-strain* pada permukaan ditampilkan pada gambar (2.9) dan nilai efektif *shear-strain* pada permukaan dapat digunakan persamaan (2.18).

$$\gamma = Ag.\frac{d}{H} \tag{2.18}$$

dimana nilai Ag merupakan faktor amplifikasi, sedangkan H adalah tebal lapisan permukaan (yang mengalami pelapukan), dan nilai d adalah nilai perpindahan gelombang seismik dari dasar bumi.



Gambar 2.9 *Surface ground strain*

Apabila kecepatan gelombang geser pada batuan dasar dan juga permukaan tanah ditunjukkan dengan V_b dan V_s , maka pengaruh dari frekuensi natural dapat ditunjukkan dengan persamaan (2.19).

$$f_o = \frac{v_b}{(4A_g.H)} \quad (2.19)$$

Sedangkan nilai percepatan pada batuan dasar (α_b) ditunjukkan dengan persamaan (2.20).

$$\alpha_b = (2\pi f_o)^2 x d \quad (2.20)$$

Dan nilai efektif *shear-strain* dapat ditunjukkan dengan f_o , A_g , dan V_b melalui persamaan (Nakamura, 1997):

$$\gamma = (A_g^2 / f_o) x (\alpha_b / (\pi^2 V_b)) \quad (2.21)$$

2.7. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mempelajari lebih detil mengenai pengaruh keterkaitan antara likuifaksi tanah dengan frekuensi natural tanah, amplifikasi, dan gelombang geser (V_s). Adapun penelitian-penelitian yang telah dilakukan antara lain,

- Pupung Susilanto, dkk (Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, 2016), mengenai sebaran nilai frekuensi natural yang memiliki kesesuaian dengan kondisi fisiografi dan morfologi daerah untuk menentukan indeks kerentanan seismik di kota Padang. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa suatu

wilayah dinyatakan rentan apabila mengalami gempa bumi dengan nilai PGA di atas 300 gal.

- b. Wahyu Tri Sutrisno, dkk (Jurnal Teknik POMITS Vol 1, No 1, 2013), mengenai inversi kurva H/V untuk profiling kecepatan gelombang geser (V_s).
- c. Adrin Tohari, dkk (Puslit Geoteknologi–LIPI, 2013), menjelaskan bahwa metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi di wilayah kota pesisir yang rentan gempa bumi. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa lapisan tanah yang mengalami likuifaksi di daerah pesisir mempunyai periode dominan antara 1 dan 2 detik, dengan faktor amplifikasi berkisar antara 3 dan 9.
- d. Armin W. Stuedlin (Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010), mengenai korelasi antara kecepatan gelombang geser (V_s) dengan kondisi morfologi daerah Alluvium Sungai.

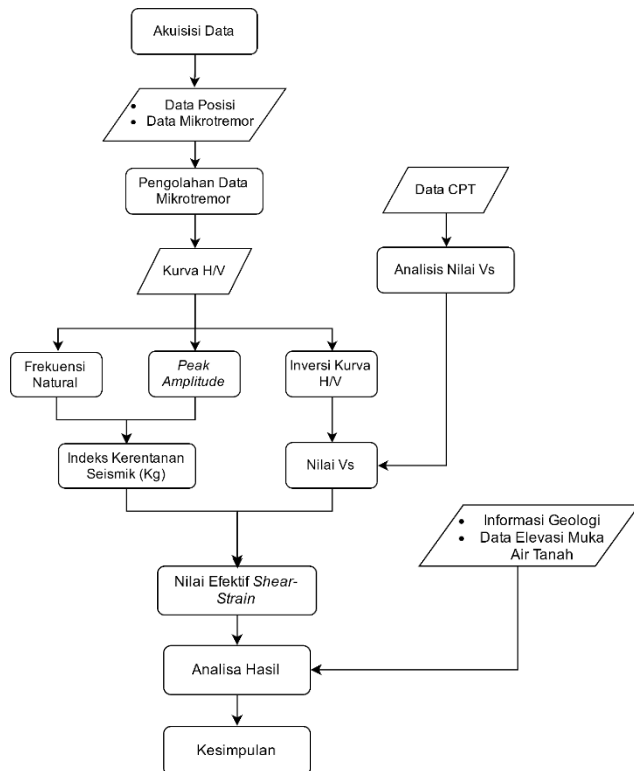
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

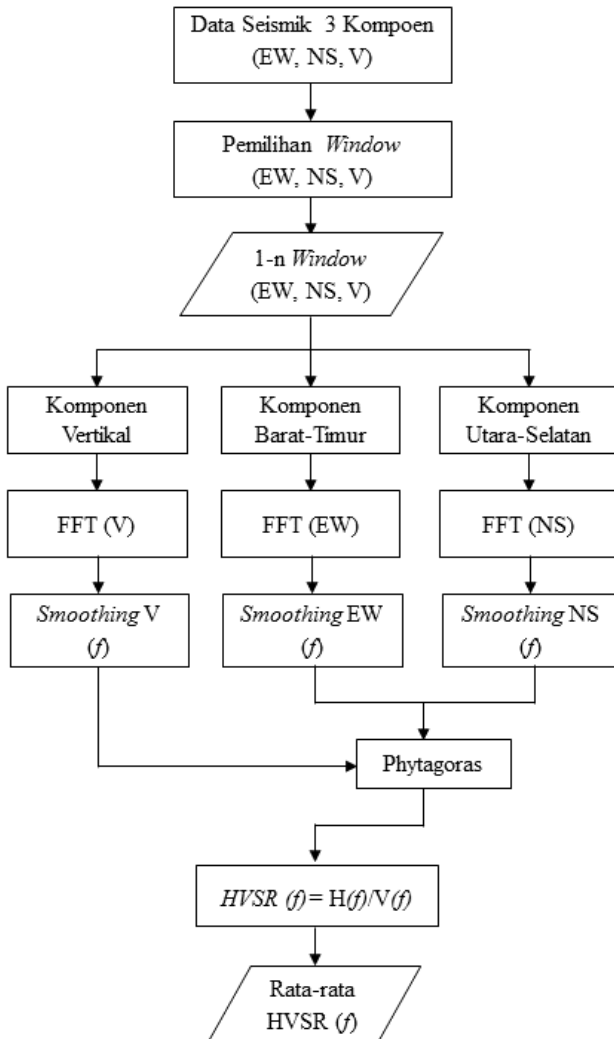
Metode penelitian yang dilakukan adalah metode yang secara umum digunakan untuk melakukan penelitian, yaitu dengan melakukan studi literatur mengenai topik penelitian yang kemudian dilanjutkan dengan akuisisi data, pengolahan data, analisa data untuk kemudian didapatkan kesimpulan. Secara garis besar metode penelitian ini dapat dijelaskan pada diagram alir penelitian (gambar 3.1).



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pengolahan Data

Setelah data yang dibutuhkan sudah dipersiapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

Pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan menggunakan peranti lunak Open HVSR. Spektra Fourier dihitung untuk segmen-segmen terpilih tersebut menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) yang merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi. Domain waktu (periode) didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sebuah isyarat atau gelombang untuk mencapai suatu gelombang penuh. Domain frekuensi didefinisikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Rasio amplitudo Fourier dari dua spektra Fourier horizontal dan 1 spektra Fourier vertikal akan menghasilkan spektra H/V.

Fast Fourier Transform (FFT) dihitung pada masing-masing komponen dari sinyal yang dipilih dan estimasi yang reliabel dari puncak frekuensi HVSR menggunakan algoritma *smoothing* yang diusulkan oleh Konno dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40. Data yang sudah difilter kemudian dianalisa menggunakan metode HVSR yang didapat dari akar kuadrat dari amplitudo spektrum Fourier horizontal (North-South dan East-West) dibagi dengan spektrum Fourier vertikal. Kemudian dari kurva spektra rasio H/V didapatkan nilai frekuensi natural (f_0) dan faktor amplifikasi tanah (A_0) untuk setiap titik pengukuran. Dari data tersebut kemudian dibuat peta kontur untuk frekuensi natural dan faktor amplifikasi (A_0).

Dalam melakukan pengolahan data mikrotremor, diperlukan Kriteria reliabel dari SESAME. Kriteria ini merupakan syarat yang harus diperhatikan dari kurva H/V sebelum melakukan interpretasi.

- Apabila peak dari grafik H/V terlihat jelas, maka dapat dipastikan bahwa nilai frekuensi naturalnya (f_0) memenuhi syarat.
- Untuk mendapatkan hasil pengolahan yang berkualitas, pastikan nilai dari jumlah siklus (n_c) lebih dari 200. Batas minimum dari n dinaikkan hingga 400 apabila didapatkan nilai frekuensi dominan yang rendah. Apabila didapatkan nilai frekuensi dominan yang tinggi dapat dinaikkan sekitar 800-1000.
- Seringkali didapatkan nilai deviasi standar yang tinggi pada peak dari kurva H/V yang biasanya terjadi akibat gangguan (noise) ketika dilakukan pengukuran. Oleh karena itu, pastikan bahwa nilai dari standar deviasi (σ) lebih kecil dari 2 (untuk $f_0 > 0,5$ Hz) dan 3 (untuk $f_0 < 0,5$ Hz) dalam batas frekuensi $0,5 f_0$ hingga $2 f_0$.
- Apabila nilai amplitudo dari peak kurva H/V berada pada klasifikasi $A_0 < 0,1$ atau $A_0 > 10$ dengan range frekuensi yang lebar (lebih dari $4f_0$), dapat

dimungkinkan bahwa sensor yang digunakan tidak dalam kondisi yang baik atau sinyal ambient yang diolah memiliki sumber yang sangat dekat sehingga perlu dilakukan pengukuran ulang.

Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f' = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f') < A_0/2$
- f'' = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f'') < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{\min} = lower-bound estimate of h

Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)

i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$

ii) $\exists f'' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f'') < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

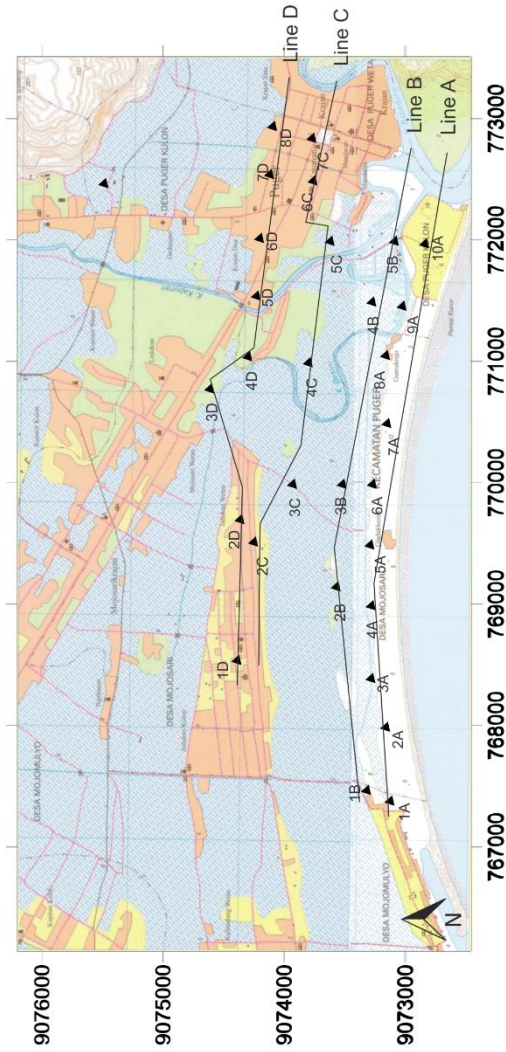
Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Gambar 3.3 Kriteria reliabel dari SESAME
(SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12)

3.3 Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian berada di kecamatan Puger, kabupaten Jember, provinsi Jawa Timur (Gambar 3.3) dengan 30 titik pengukuran.

Desain Akuisisi Penelitian



Gambar 3.4 Lokasi penelitian (titik hitam merupakan titik pengukuran)

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

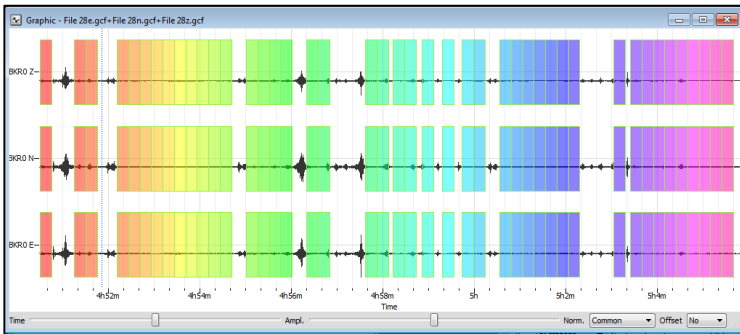
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Pemilihan Event Data Gelombang

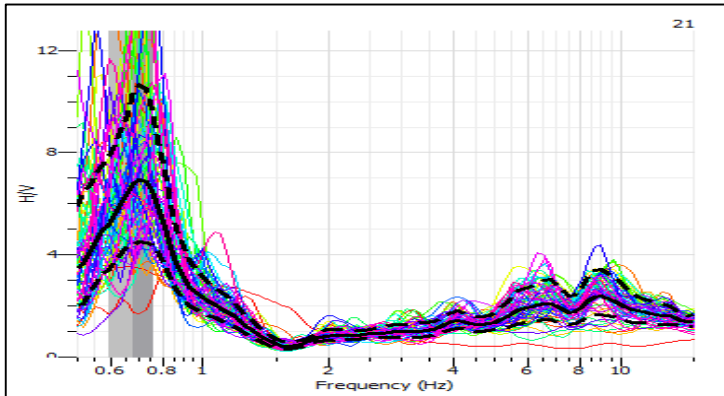
Dalam melakukan pengolahan data gelombang mikrotremor seringkali terdapat noise sehingga dalam pemilihan data yang akan dilakukan interpretasi. Oleh karena itu, seringkali dalam melakukan pengolahan data akan lebih memilih menghindari noise dan mengambil data event gelombang.



Gambar 4.1 Pemilihan event data gelombang

4.1.2 Kurva H/V

Setelah dilakukan proses windowing, komponen horizontal (N-S dan E-W) disatukan dengan rata-rata kuadrat. Setelah itu dilakukan perhitungan H/V untuk masing-masing window. Langkah terakhir adalah menghitung rata-rata H/V semua window untuk mendapatkan nilai H/V di setiap titik pengukuran. Kurva H/V yang diperoleh adalah kurva H/V sebagai fungsi frekuensi. Kurva ini menampilkan suatu puncak yang menunjukkan frekuensi dominan beserta nilai puncak H/V atau faktor amplifikasinya.



Gambar 4.2 Kurva H/V

4.2 Perhitungan

Pada proses perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai h (ketebalan lapisan sedimen), K_g (indeks kerentanan) serta γ (shear-strain) yang digunakan beberapa persamaan (Nakamura, 1997, 2000). Untuk perhitungan lengkap tentang nilai h (ketebalan lapisan sedimen), K_g (indeks kerentanan) serta γ (shear-strain) ditampilkan pada lampiran 1.

4.3 Pembahasan

Hasil dari pengolahan data mikrotremor didapatkan analisis hasil sebagai berikut,

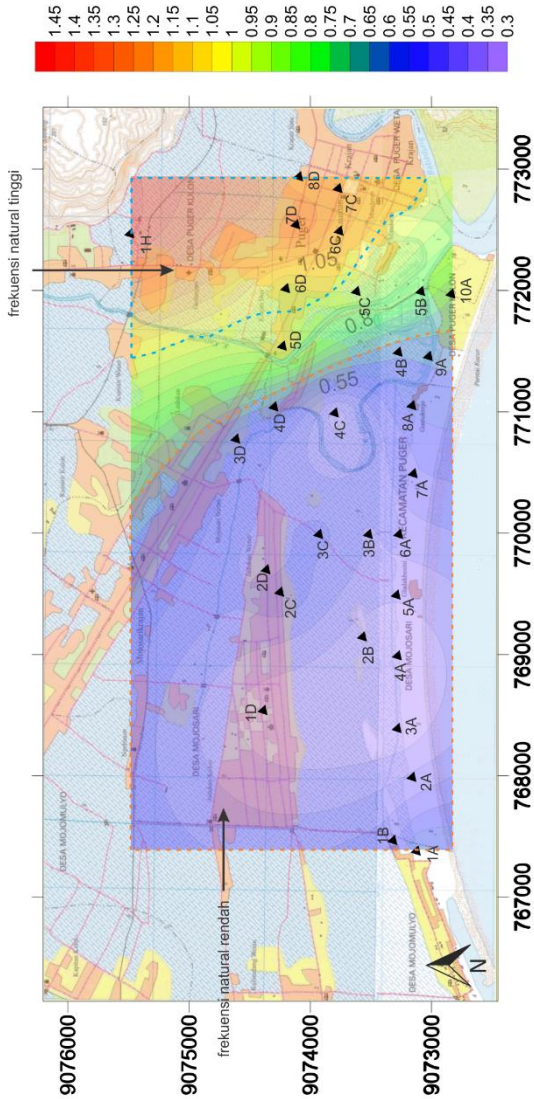
4.3.1 Peta Sebaran Nilai Frekuensi Natural

Nilai frekuensi natural tanah merupakan nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan formasi batuan di suatu daerah. Frekuensi natural diperoleh dari kurva HVSR yang kemudian dibuat peta sebaran distribusinya di kecamatan Puger. Selanjutnya peta sebaran nilai frekuensi natural tanah kemudian di overlay dengan peta rupa bumi daerah penelitian. Menurut Nakamura (200) frekuensi natural dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser (V_s) dan kedalaman lapisan sedimen.

Berdasarkan analisis data (gambar 4.3), diketahui bahwa daerah pengukuran didominasi oleh frekuensi rendah sampai dengan sedang yang berkisar antara 0,3 – 1,4 Hz. Nilai tersebut ditunjukkan dari persebaran data pengukuran yang terdapat di wilayah kecamatan Puger di dominasi oleh frekuensi natural rendah. Frekuensi natural di wilayah Selatan dan Barat yang

merupakan lahan pertanian dan dekat dengan pantai bernilai rendah antara 0.3 – 0.6 Hz. Sedangkan di wilayah Timur yang merupakan daerah pemukiman dan kantor kecamatan memiliki frekuensi yang sedang antara 0,9 - 1,4 Hz. Daerah yang memiliki nilai frekuensi natural rendah sangat rawan untuk terjadinya multirefleksi gelombang badan atau terjebaknya gelombang gempa pada sedimen yang akan menimbulkan potensi kerusakan yang besar dan juga memungkinkan terjadinya likuifaksi (Nakamura, 2000).

Peta Sebaran Frekuensi Natural Tanah



Gambar 4.3 Persebaran nilai frekuensi natural

4.3.2 Peta Sebaran Ketinggian Muka Air Tanah

Ketinggian muka air tanah merupakan salah satu faktor yang terlibat dalam terjadinya likuifaksi. Menurut Seed (1971) muka air tanah yang dangkal turut berperan dalam terjadinya likuifaksi selain kondisi karakteristik geologi. Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air. Seiring naiknya tekanan air yang diakibatkan oleh guncangan gempa, maka tegangan efektif (s') menjadi berkurang (Towhata, 2008). Kondisi ini dinyatakan dalam persamaan (4.6).

$$s' = s - u \quad (4.6)$$

dengan,

s' = tegangan efektif

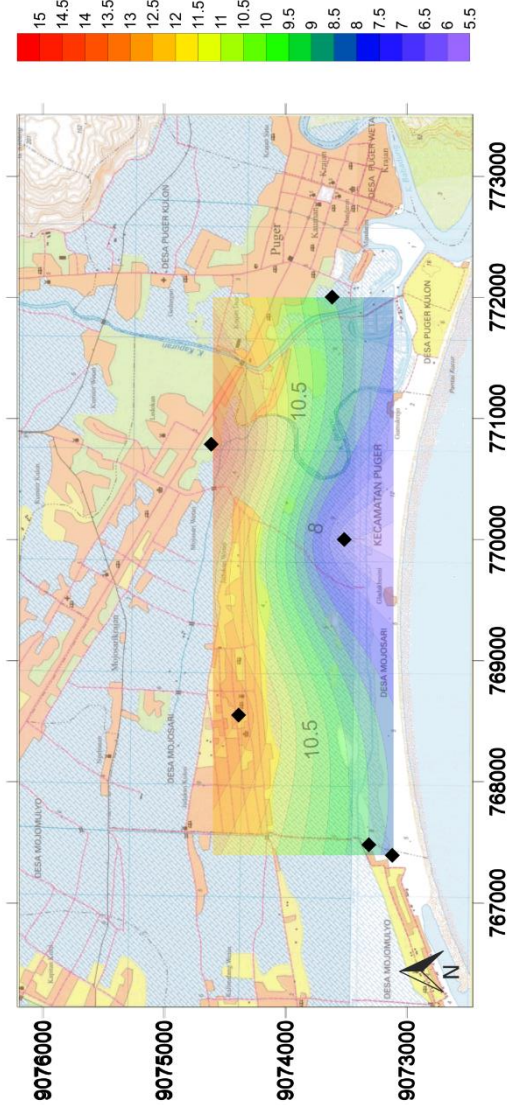
s = tegangan total

u = tegangan air pori

Pada kasus likuifaksi, tegangan efektif dapat mendekati nilai nol. Tegangan efektif adalah ketika terjadi adanya gaya kontak antar butiran pasir. Tegangan efektif yang bernilai nol menyatakan tidak adanya gaya kontak tersebut sehingga butiran tanah benar-benar mengapung bebas dalam air. Oleh karena itu ketika hal itu terjadi maka tanah tersebut tidak mampu menopang beban di atasnya dan menyebabkan amblasnya bangunan, miring ataupun longsor.

Berdasarkan gambar (4.4) dapat diketahui bahwa muka air tanah dangkal berada di daerah Selatan dari lokasi penelitian. Hal ini berkorelasi dengan nilai frekuensi natural tanah, faktor amplifikasi dan nilai K_g bahwa daerah Selatan rentan mengalami proses likuifaksi.

Peta Sebaran Nilai Ketinggian Muka Air Tanah



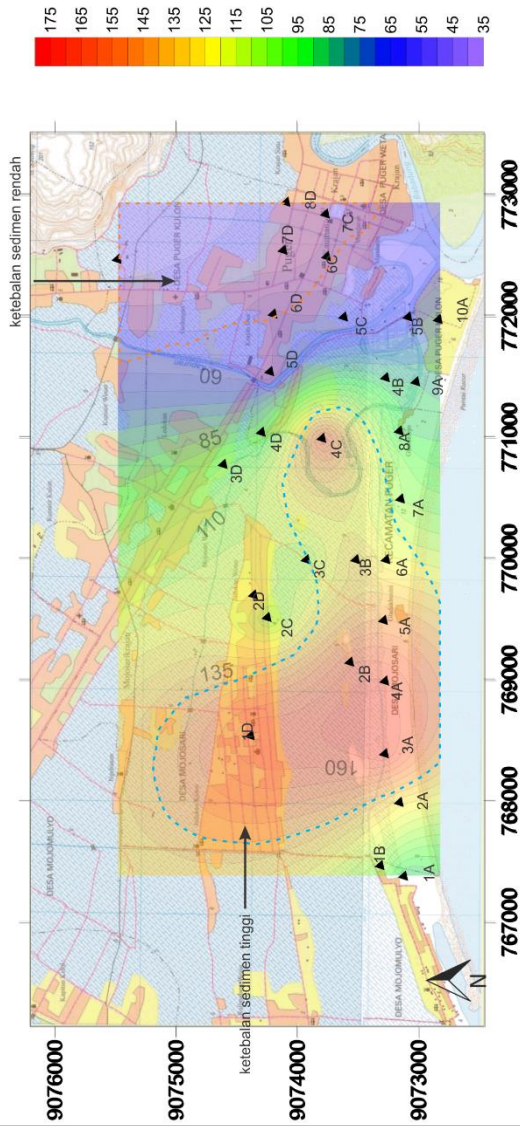
Gambar 4.4 Persebaran nilai ketinggian muka air tanah

4.3.3 Peta Sebaran Nilai Ketebalan Sedimen (h)

Berdasarkan persebaran nilai ketebalan dari lapisan sedimen di lokasi penelitian didapatkan hasil yang berkisar antara 36-169 meter. Nilai ketebalan sedimen (h) tersebut didapatkan dengan menerapkan persamaan (2.1) (Nakamura, 1997, 2000). Dari persamaan tersebut nilai frekuensi natural diperoleh langsung dari pengukuran masing-masing titik. Dalam penelitian ini, nilai V_s pada lapisan sedimen didapatkan dari proses inversi kurva HVSR yaitu sebesar 207,3 m/s. Setelah mendapatkan nilai V_s (*shear wave*), nilai ketebalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1).

Pada gambar (4.5) dapat terlihat sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen pada lokasi penelitian. Ketebalan lapisan sedimen yang rendah berada di wilayah Timur lokasi penelitian, dimana wilayah tersebut merupakan daerah pemukiman penduduk dan kantor kecamatan. Di wilayah Selatan memiliki nilai ketebalan lapisan sedimen yang tinggi antara 120-169 m. Pada wilayah Selatan lokasi pengukuran merupakan daerah lahan pertanian dan dekat dengan pantai sehingga nilai ketebalan sedimen yang tinggi dimungkinkan akibat pengendapan pantai. Berdasarkan pengaruh terhadap respon tanah terhadap gempa dapat diperkirakan bahwa ketika lapisan sedimen lebih tebal, maka nilai faktor amplifikasi yang dihasilkan lebih tinggi. Apabila terjadi gempa dengan frekuensi yang sama atau lebih besar dengan frekuensi natural tanah, maka gelombang gempa akan mengalami penguatan sehingga daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang besar akan rawan terhadap gempa bumi yang dapat menimbulkan retakan atau penurunan lapisan tanah (likuifaksi).

Peta Sebaran Ketebalan Sedimen



Gambar 4.5 Persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen

4.3.4 Validasi Nilai Vs

Dalam tugas akhir ini, nilai Vs (*shear wave*) pada lapisan sedimen yang diperoleh dari inversi kurva HVSR kemudian dibandingkan dengan nilai Vs yang didapatkan dari uji CPT (*Cone Penetration Test*). Nilai Vs dari uji CPT didapatkan dari hubungan antara SPT-N dan Vs berupa persamaan empiris yang diturunkan oleh Hanumantharao and Ramana (2008) yaitu :

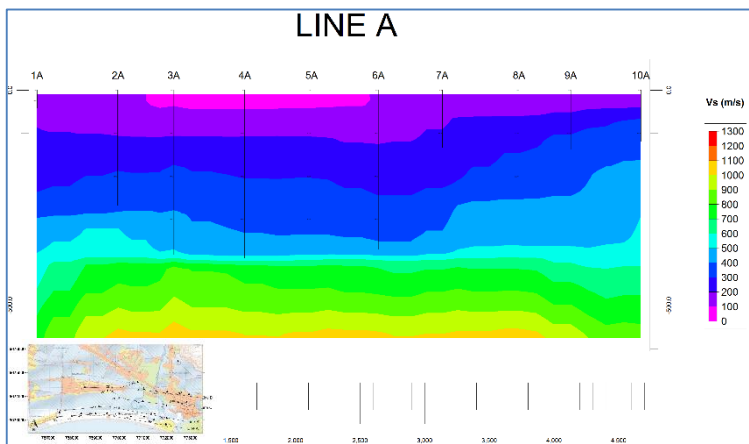
$$V_s = 82,6 N^{0,43} \quad (4.4)$$

dimana N adalah nilai SPT-N (*Standart Penetration Test*) yang didapatkan dari hubungan nilai N-SPT dengan tegangan Konus (Meyerhoff, 1956).

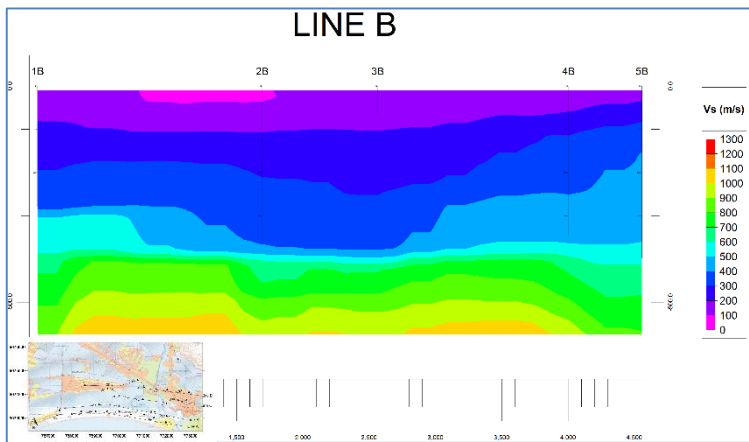
$$Q_c = 4N \quad (4.5)$$

Dari hasil perhitungan persamaan (4.4) kemudian nilai Vs (*shear wave*) pada lapisan sedimen didapatkan sebesar 231,32 m/s. Sehingga, selisih nilai *error* yang didapatkan dari perbedaan nilai Vs pada lapisan sedimen menggunakan inversi kurva HVSR dan pengukuran CPT sebesar 10,3%.

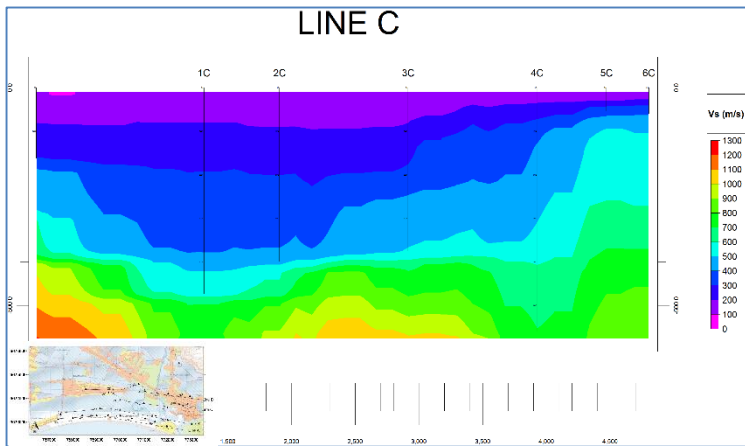
Pada perlapisan tanah yang didapatkan dari distribusi nilai Vs hasil inversi kurva HVSR pada tiap lapisan menunjukkan kecenderungan lapisan sedimen yang semakin berkurang dari line A ke line D. Dimana line A merupakan wilayah pengukuran di daerah dekat pantai, dan line D merupakan wilayah pengukuran di dekat pemukiman dan kantor kecamatan.



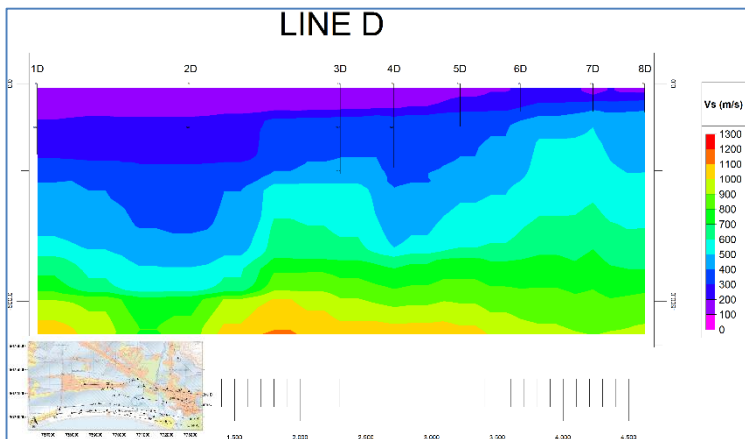
Gambar 4.6 Perlapisan tanah berdasarkan nilai Vs pada line A



Gambar 4.7 Perlapisan tanah berdasarkan nilai Vs pada line B



Gambar 4.8 Perlapisan tanah berdasarkan nilai Vs pada line C



Gambar 4.9 Perlapisan tanah berdasarkan nilai Vs pada line D

Tabel 4.1 Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) suatu batuan (Schon, 1998)

Jenis batuan	V_s (m/s)
Granit	2610-3300
Diorit	2960-3450
Gabro	2700-3500
Andesit	2440-3500
Dolomit	1900-3740
<i>Sand unconsolidated</i>	150-600
<i>Sand water saturation</i>	30 - 500
<i>Clay</i>	910-1740

Pada tabel (4.1) dapat diperkirakan berdasarkan nilai V_s yang telah diperoleh bahwa lapisan sedimen pada daerah penelitian berupa *sand unconsolidated* (V_s = 150-600 m/s) dan *sand water saturation* (30-500 m/s).

4.3.5 Peta Sebaran Nilai *Peak Amplitude* (A_o)

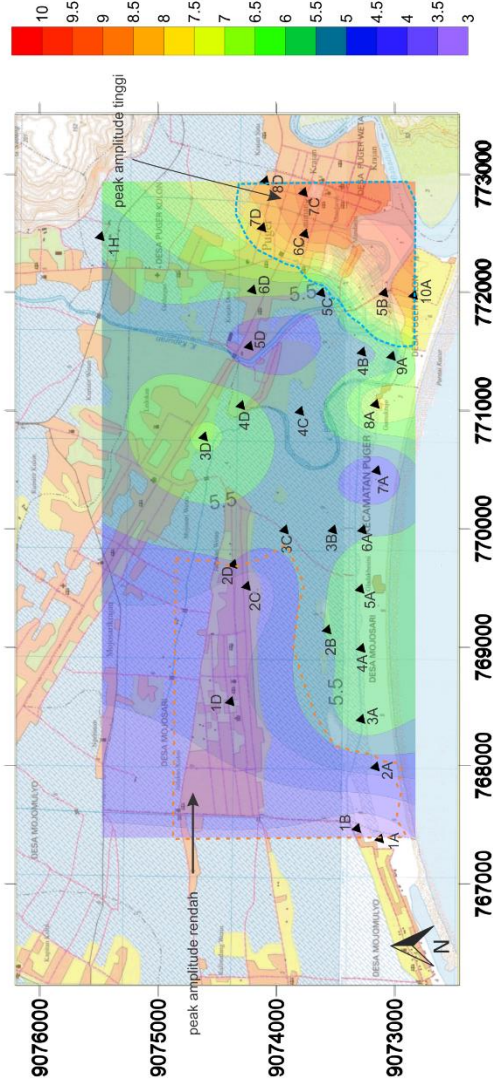
Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran apabila merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa faktor amplifikasi yang tinggi pada suatu daerah akan menyebabkan guncangan gelombang gempa bumi semakin besar dan tentunya akan menyebabkan kerusakan yang lebih parah.

Berdasarkan peta persebaran nilai faktor amplifikasi berupa puncak amplitudo (*peak amplitude*) yang diperoleh dari kurva HVSR (Gambar 4.5) dapat diketahui bahwa nilai puncak amplitudo gelombang di daerah penelitian memiliki nilai yang berkisar antara 3-9,5. Menurut penelitian Sungkono dan Santosa (2011), nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser (V_s) dan perbedaan densitas lapisan sedimen dan batuan dasar yang signifikan.

Nilai sebaran faktor amplifikasi di daerah Selatan yang dekat dengan daerah pantai memiliki nilai yang sedang sampai tinggi dengan nilai antara 5,5-7. Nilai sebaran faktor amplifikasi tinggi berada di daerah A pada lokasi penelitian.

Penelitian dari Nakamura (2000) menunjukkan bahwa parameter amplifikasi yang dapat merusak bangunan bernilai >3 yang berkorelasi dengan frekuensi rendah. Pada gambar (4.10) terlihat bahwa penggunaan nilai faktor amplifikasi tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan nilai frekuensi natural tanah. Menurut Nguyen dkk (2009), penggunaan nilai dari faktor amplifikasi dalam mengkarakterisasi tanah masih menjadi perdebatan dari para ahli. Sehingga perlu didapatkan parameter lain untuk menghubungkan nilai frekuensi natural tanah dan faktor amplifikasi dalam mengkarakterisasi tanah dan potensi tanah untuk mengalami likuifaksi.

Peta Sebaran Nilai Peak Amplitude



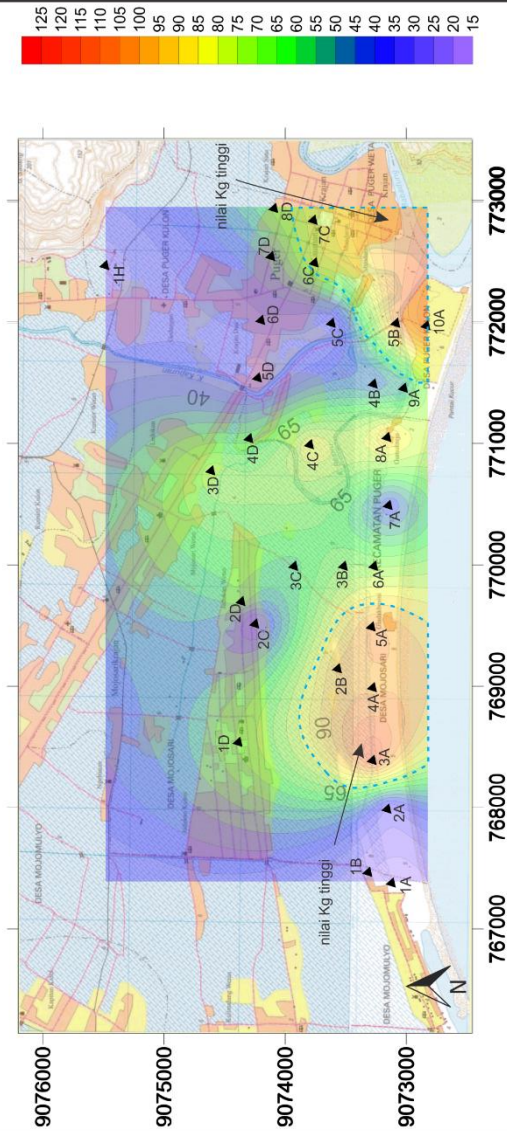
Gambar 4.10 Persebaran nilai peak amplitude

4.3.6 Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik atau nilai Kg merupakan suatu parameter untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap gerakan tanah yang kuat (Nakamura, 1997). Jika suatu daerah memiliki indeks kerentanan seismik yang besar maka tingkat resiko gempa buminya juga akan tinggi. Penelitian Huang dan Tseng (2002) memetakan nilai indeks kerentanan seismik untuk daerah alluvial fan di Yuan Lin yang menunjukkan bahwa nilai Kg yang tinggi akan berpotensi mengalami likuifaksi.

Nilai Kg dihitung menggunakan persamaan (2.17) yang diberikan oleh Nakamura (2000). Berdasarkan peta persebaran nilai Indeks Kerentanan Seismik (Gambar 4.11) dapat diketahui bahwa nilai Kg di daerah penelitian memiliki nilai yang berkisar antara 14,4-120. Wilayah Selatan pada lokasi penelitian memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi antara 85-120. Apabila dikorelasikan dengan nilai faktor amplifikasi tinggi dan frekuensi natural tanah, maka wilayah Selatan pada lokasi penelitian yang paling berpotensi untuk terjadinya proses likuifaksi (Huang dan Tseng, 2002).

Peta Sebaran Nilai Kerentanan Seismik



Gambar 4.11 Persebaran nilai indeks kerentanan seismik

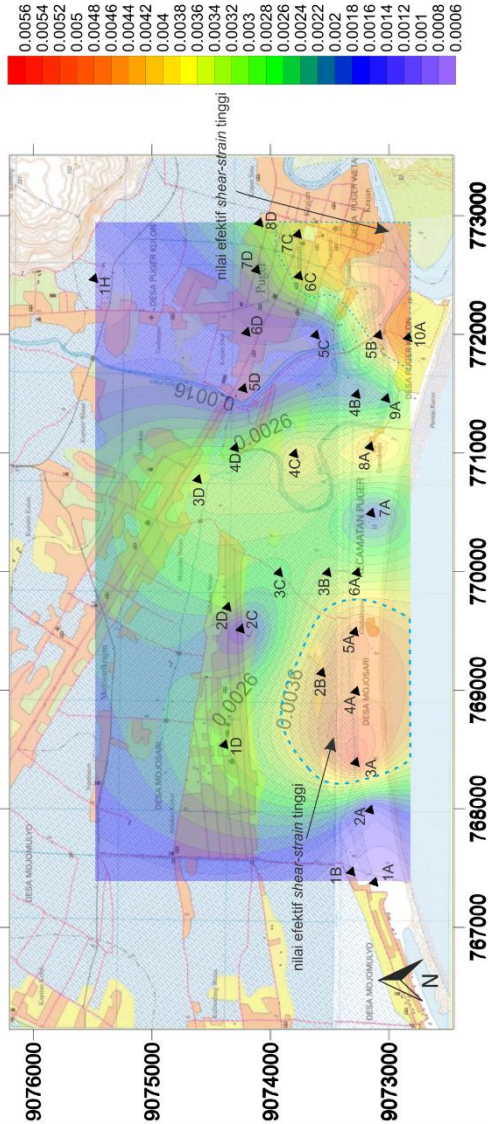
4.3.7 Peta Sebaran Nilai Efektif Shear-Strain

Pada gambar (4.12) dapat diketahui persebaran nilai efektif *shear-strain* yang telah di *overlay* dengan peta rupa bumi daerah penelitian. Persebaran nilai efektif *shear-strain* tersebut hampir sama dengan persebaran nilai K_g dimana nilai yang sedang sampai tinggi berada di daerah Selatan dan bagian Timur dari lokasi penelitian. Lokasi sebelah Timur dekat dengan sungai Besini dan di bagian Selatan dekat dengan pantai.

Menurut Ishihara (1978) dan Nakamura (1997) lapisan tanah akan mengalami kondisi plastis jika nilai shear strain (γ) berkisar 1000×10^{-6} dan untuk nilai shear strain (γ) $>10.000 \times 10^{-6}$ kondisi tanah akan rentan terjadi rekahan longsoran dan likuifaksi jika terjadi gempa bumi. Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, didapatkan nilai efektif *shear-strain* antara $600 - 5600 \times 10^{-6}$. Nilai tersebut didapatkan menggunakan persamaan (2.21) dengan nilai percepatan gempa di batuan dasar sebesar 0,25 menurut peta gempa Indonesia tahun 2010.

Dari gambar (4.12) dapat diperkirakan bahwa di daerah Timur yang dekat dengan sungai Kapuran dan di daerah sepanjang pantai sebelah Selatan berpotensi terjadi proses likuifaksi.

Peta Sebaran Nilai Efektif Shear-strain



Gambar 4.12 Persebaran nilai efektif shear-strain

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa pengukuran mikrotremor menggunakan metode HVSR di wilayah kecamatan Puger adalah:

- a) Persebaran nilai frekuensi natural (f_0) dengan nilai antara 0,3-1,4 Hz, dengan nilai (f_0) tinggi berada di wilayah Timur dan Utara sedangkan nilai (f_0) rendah berada di wilayah Barat dan Selatan. Nilai faktor amplifikasi di kecamatan Puger berkisar 2,6-9,1. Nilai amplifikasi tinggi pada daerah pesisir wilayah Timur daerah penelitian.
- b) Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) pada wilayah kecamatan Puger berkisar 14,4-120. Nilai (K_g) tinggi berada di wilayah Selatan dan Timur kecamatan Puger.
- c) Nilai efektif shear-strain di wilayah kecamatan Puger berkisar 600-5600 $\times 10^{-6}$. Nilai (γ) tinggi berada di wilayah Selatan kecamatan Puger. Daerah yang memiliki potensi likuifaksi memiliki frekuensi natural yang kecil, amplifikasi tinggi dan nilai K_g yang tinggi yaitu berada di sebelah Timur sepanjang sungai Kapuran dan bagian Selatan dekat pesisir pantai kecamatan Puger.

5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian lebih lanjut tentang potensi likuifaksi di kecamatan Puger adalah:

- a) Dilakukan uji SPT untuk memastikan hasil dari pengukuran mikrotremor di kecamatan Puger.
- b) Perencanaan pembangunan wilayah pesisir kecamatan Puger perlu diperhatikan kembali karena memiliki potensi kerentanan gempa yang tinggi sehingga berpotensi untuk likuifaksi.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Bard, P.-Y., (1999). *Microtremor measurements: a tool for site effect estimation?*. The Effects of Surface Geology on Seismic Motion Yokohama Vol.3. Balkema : Rotterdam.
- Bemmelen, Van R. W. (1970). *The Geology Indonesia, Second Edition*. Martinus Nijhoff The Hague.
- Beroya MAA., Aydin A, Tiglao R, Lasala M. (2009). *Use of Microtremor in Liquefaction Hazard Mapping*. Science Direct : Engineering Geology; 107: 140-53.
- Beroya MAA., Aydin A. (2009). *Seismic Hazard Analysis of Laoag City, Northern Phillipines for Liquefaction Potential Assesment*. Science Direct : Engineering Geology; 96 : 140-53.
- Bignardi, Samuel. (2016). *Open HVSR User Manual (Ver. 2.0)*.
- Daryono, S., J. Sartohadi, Dulbahri, K. S. Brotopuspito. (2009). *Efek Tapak Lokal di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. International Conference Earth Science and Technology : Yogyakarta.
- Citra Dewi .S.P., Nur Ayu Diana, Lestari R.T., Soemitro R.A.A., Warnana D.D. (2015). *Earthquake Microzonation and Vs30 Mapping Based on Microtremor Measurement (Case Study in Kaliwates and Summersari Sub-District, Jember Regency)*. Science Direct : Procedia-Social and Behavioral Sciences. 227 : 354-360.
- Hadi, A.I., Farid, M., Fauzi, Y. (2012). *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Kerentanan Seismik Akibat Gempa bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*. Simetri, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia Vol. 1 No. 2 (D).
- Hanumantharao, C., G.V. Ramana. (2008). *Dynamic Soil Properties for Microzonation of Delhi, India*. Journal of Earth System Science, 117, S2, November 2008, pp. 719–730.
- Hardesty, K., W.Wolf, Lorraine., Bodin P., (2010). *Noise to Signal: Microtremor Study at Liquefaction Site in New Madrid Seismic Zone*. Society of Exploration Geophysics, Vol.75, No.75.
- Irsyam, Masyhur., Sengara I.W., Aldiamar F., Widiyantoro S., Triyoso W., Natawidjaja D.H., Kertapati E., Meilano I., Suhardjono, Asrurifak M.,

- Ridwan M. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa 2010*. Kementrian Pekerjaan Umum.
- Konno, K., and T. Ohmachi. (1998). *Ground-motion characteristics Estimated from Spectral Ratios Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. Bulletin of the Seismological Society of America, 88, pp.228–241.
- Marjiyono. (2010). *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Thesis ITB : Bandung.
- Mufida, Asmaul., Bagus Jaya Santosa, Dwa Desa Warnana. (2013). *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*. Jurnal Sains dan Seni POMITS Volume.2, No.2.
- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation on subsurface using microtremor on the ground surface*. Tokyo: Quatrely Reports of the Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.
- Nakamura, Y. (1997). *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor*. Proceedings of World Congress on Railway Research. Florence.
- Nakamura, Y. (2000). *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Japan: Tokyo University.
- Nakamura, Y. (2008). *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Marjiyono dan Afnimar, “Mikrozonasi Bahaya Gempa Bumi Di Wilayah Kota Bandung Berdasarkan Data Mikrotremor”, Jurnal Sains dan Geologi, Vol.21, No.1, Bandung, Pebruari, 2011.
- Mufida, Asmaul., Santosa B.J., Warnana D.D., “*Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*”, Jurnal Sains dan Seni POMITS, Vol.2, No.2, pp.2337-3520.
- Nguyen, F., Teerlynck, H., Van Rompaey, G., Van Camp, M., Jongmans, D. and Camelbeeck, T. (2009). *Use of microtremor measurement for assessing site effects in Northern Belgium-interpretation of the observed intensity during the Ms5.0, June 11, 1938 Earthquake*. Journal of Seismology, 8(1), pp.41-56.
- Robertson, P.K., Wride C.E. (1998). *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal 35: 442–459
- Schon, J.H. (1998). *Physical Properties of Rock : Fundamental and Principle of Petrophysics*. Elsevier.

- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). *Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential*. Journal of soil mechanics and foundation, Division. ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249-1273.
- Seed, H. Bolton., Idriss I.M. (1982). *Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquake*. Earthquake Engineering Research Institute : Berkeley.
- SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements, Processing And Interpretation*. European Commission-Research General Directorate.
- Soebowo, Eko., Adrin Tohari, Dwi Sarah. (2007). *Studi Potensi Likuifaksi Di Daerah Zona Patahan Opak Patalan-Bantul, Yogyakarta*. LIPI : Pusat Penelitian Geoteknologi.
- Soehaimi, A. (2008). *Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3, No.4, pp.227-240.
- Sungkono. B., J., Santosa. (2011). *Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Ratio: Kajian Literatur dan Permodelan*. Submit to Neutrino Journal.
- Susilanto, Pupung., Drajat Ngadmanto, Daryono, Thomas Hardy, Suliyanti Pakpahan. (2016). *Penerapan Metode Mikrotremor HVSR untuk Penentuan Respons Dinamika Kegempaan di Kota Padang*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi.
- Sutrisno, Wahyu Tri., Bagus Jaya Santosa, Dwa Desa Warnana. (2013). *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Inversi Spektrum HVSR*. Jurnal Teknik POMITS Volume.1, No.1.
- Suwarti. T, Suharsono. (1992). *Peta Geologi Regional Lembar Jember*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi : Jakarta.
- Roser, J., Gosar, A. (2010). *Determination of Vs30 for seismic ground classifications in the Ljubljana area*. Slovenia: Acta Geotechnica Slovenia.
- Tohari, A., Sugianti, K., Soebowo, E. (2011). *Liquefaction potential at Padang City: a comparison of predicted and observed liquefaction during the 2009 Padang earthquake*. Jurnal Riset dan Pertambangan, Puslit Geoteknologi-LIPI, 21 (1), pp.7-18.
- Tohari, A., Arifan Jaya .S, Nugrogo Aji .S., Eko Soebowo. (2013). *Karakteristik Likuifaksi Tanah Pasiran Di Kota Padang Berdasarkan Metode Mikrotremor*. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi-LIPI
- Towhatta, I. (2008). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer : Japan.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN 1

Tabel pengolahan data

No.	Nama Titik	UTM E	UTM S	fo	Ao	Kg
1	1A	767392	9073114	0.615702	3.10141	15.62
2	2A	768000	9073150	0.409519	3.39273	28.11
3	3A	768401	9073272	0.304903	5.94585	115.95
4	4A	769000	9073270	0.313827	5.54847	98.10
5	5A	769500	9073280	0.355585	6.01493	101.75
6	6A	770000	9073260	0.429776	5.43176	68.65
7	7A	770500	9073140	0.495537	4.39699	39.02
8	8A	771060	9073151	0.576627	7.32128	92.96
9	9A	771465	9073014	0.611684	5.58421	50.98
10	10A	771979	9072828	0.702720	9.18592	120.08
11	1B	767480	9073308	0.483874	3.16398	20.69
12	2B	769156	9073559	0.324316	5.59410	96.49
13	3B	770000	9073510	0.390817	5.24668	70.436
14	4B	771500	9073264	0.610167	5.21881	44.64
15	5B	772000	9073078	0.793060	9.01100	102.39
16	1C	769524	9074242	0.506729	3.93525	30.56
17	2C	770000	9073920	0.468345	5.22420	58.27
18	3C	771000	9073790	0.323938	5.26933	85.71
19	4C	772000	9073610	0.948775	5.21043	28.61
20	5C	772497	9073751	1.116450	9.00710	72.67
21	6C	772848	9073760	1.157210	9.18024	72.83
22	1D	768550	9074380	0.312193	4.36784	61.11
23	2D	769709	9074355	0.420587	4.99340	59.28
24	3D	770785	9074605	0.519603	6.16332	73.11
25	4D	771050	9074290	0.577862	5.74249	57.07
26	5D	771550	9074220	0.953616	4.61511	22.34
27	6D	772024	9074193	0.923967	5.65337	34.59
28	7D	772550	9074110	1.268360	7.72392	47.04
29	8D	772945	9074085	1.155640	8.47727	62.19
30	1H	772475	9075481	1.412180	5.56322	21.92

LAMPIRAN 2

Tabel data CPT 1 dan CPT 2

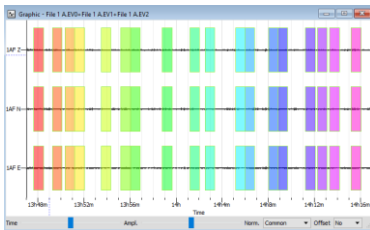
Kedalaman (m)	Tekanan Konus 1	N-SPT	Vs	Tekanan Konus 2	N-SPT	Vs
	Qc (kg/cm2)		m/s	Qc (kg/cm2)		m/s
0.00	3	0.75	72.98883	0	0	0
0.20	3	0.75	72.98883	5	1.25	90.91831
0.40	35	8.75	209.915	5	1.25	90.91831
0.60	15	3.75	145.8188	12	3	132.4775
0.80	15	3.75	145.8188	5	1.25	90.91831
1.00	10	2.5	122.4882	12	3	132.4775
1.20	10	2.5	122.4882	15	3.75	145.8188
1.40	15	3.75	145.8188	5	1.25	90.91831
1.60	17	4.25	153.8818	20	5	165.0202
1.80	20	5	165.0202	15	3.75	145.8188
2.00	7	1.75	105.0719	15	3.75	145.8188
2.20	10	2.5	122.4882	15	3.75	145.8188
2.40	15	3.75	145.8188	15	3.75	145.8188
2.60	30	7.5	196.452	20	5	165.0202
2.80	50	12.5	244.7098	60	15	264.6667
3.00	50	12.5	244.7098	80	20	299.518
3.20	60	15	264.6667	80	20	299.518
3.40	70	17.5	282.8046	105	26.25	336.671
3.60	160	40	403.5207	110	27.5	343.4734
3.80	180	45	424.4841	220	55	462.7389
4.00	150	37.5	392.4764	150	37.5	392.4764
4.20	89	22.25	313.5682	50	12.5	244.7098
4.40	90	22.5	315.0783	90	22.5	315.0783
4.60	98	24.5	326.8297	150	37.5	392.4764
4.80	82	20.5	302.7152	140	35	381.0038
5.00	90	22.5	315.0783	155	38.75	398.0493
5.20	200	50	444.1577	230	57.5	471.6689

LAMPIRAN 3

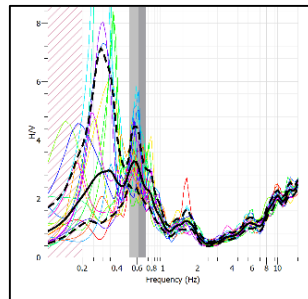
Pengolahan Data Mikrotremor

TITIK 1 A

Pada data pengukuran di titik 1A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 18 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.615702 Hz dan nilai amplifikasi 3.10141.



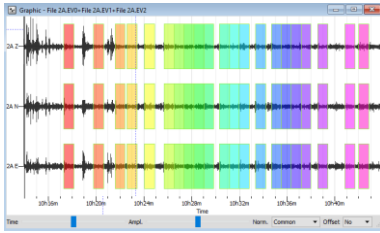
(a)



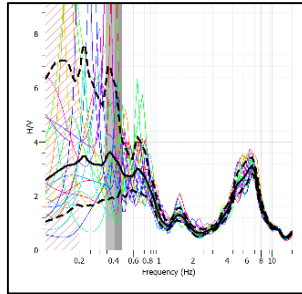
(b)

TITIK 2 A

Pada data pengukuran di titik 2A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 21 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.409519 Hz dan nilai amplifikasi 3.39273.



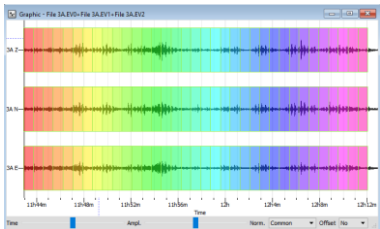
(a)



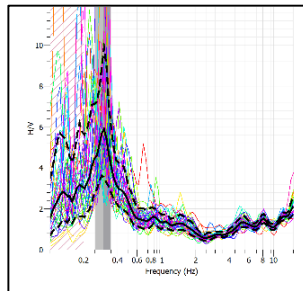
(b)

TITIK 3 A

Pada data pengukuran di titik 3A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 35 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.304903 Hz dan nilai amplifikasi 5.94585.



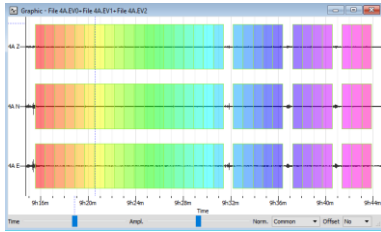
(a)



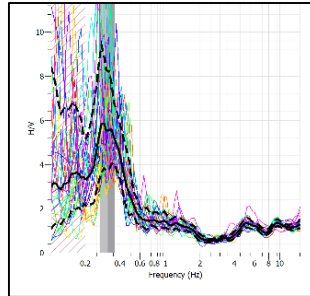
(b)

TITIK 4 A

Pada data pengukuran di titik 4A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 31 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.313827 Hz dan nilai amplifikasi 5.54847.



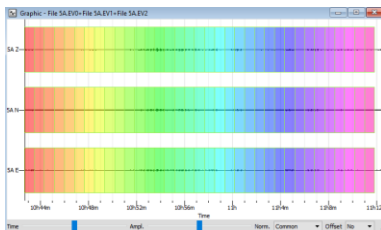
(a)



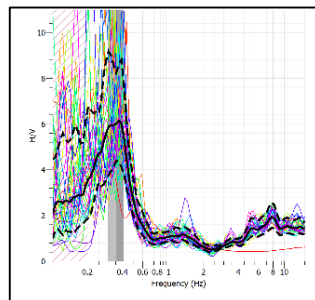
(b)

TITIK 5 A

Pada data pengukuran di titik 5A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 35 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.355585 Hz dan nilai amplifikasi 6.01493.



(a)

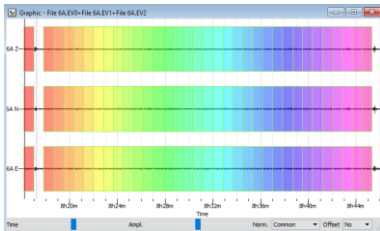


(b)

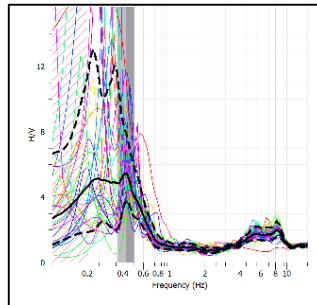
TITIK 6 A

Pada data pengukuran di titik 6A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 34 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass

filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.429776 Hz dan nilai amplifikasi 5.43176.



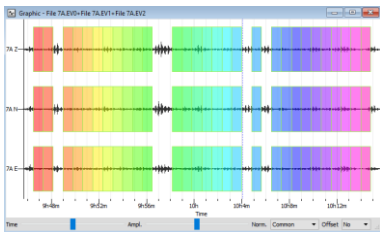
(a)



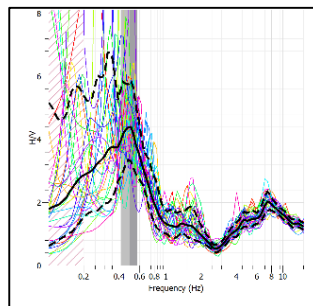
(b)

TITIK 7 A

Pada data pengukuran di titik 7A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 29 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.495537 Hz dan nilai amplifikasi 4.39699.



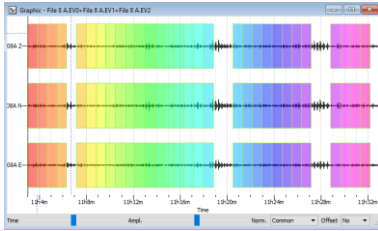
(a)



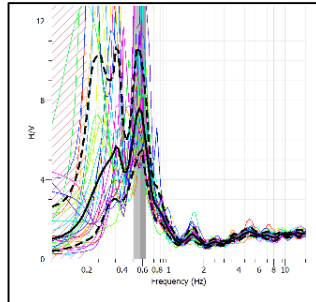
(b)

TITIK 8 A

Pada data pengukuran di titik 8A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 29 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.576627 Hz dan nilai amplifikasi 7.32128.



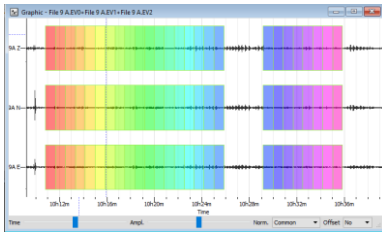
(a)



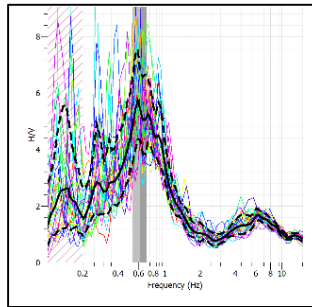
(b)

TITIK 9 A

Pada data pengukuran di titik 9A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 26 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.611684 Hz dan nilai amplifikasi 5.58421.



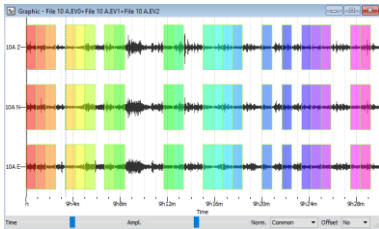
(a)



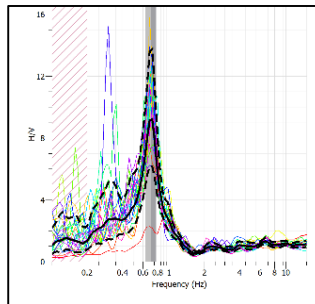
(b)

TITIK 10 A

Pada data pengukuran di titik 10A, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 21 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.702720 Hz dan nilai amplifikasi 9.18592.



(a)

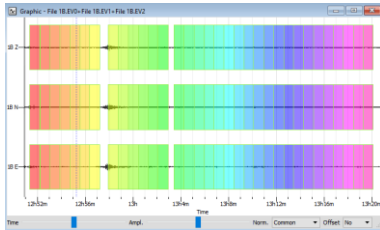


(b)

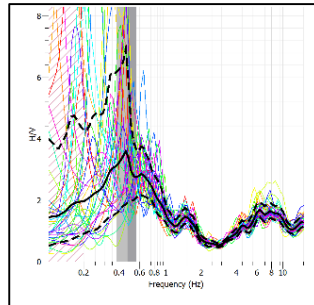
TITIK 1 B

Pada data pengukuran di titik 1B, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 33 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5% , dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass

filter 0.5. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.483874 Hz dan nilai amplifikasi 3.16398.



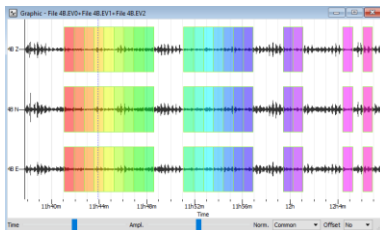
(a)



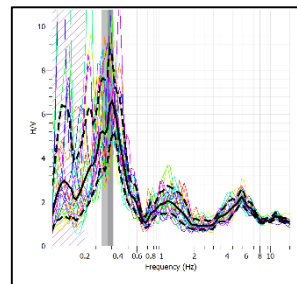
(b)

TITIK 2 B

Pada data pengukuran di titik 2B, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 20 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.324316 Hz dan nilai amplifikasi 5.5941.



(a)

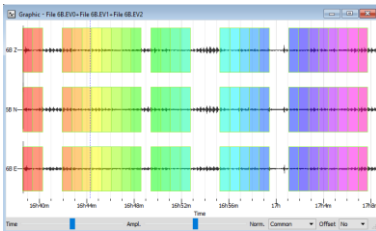


(b)

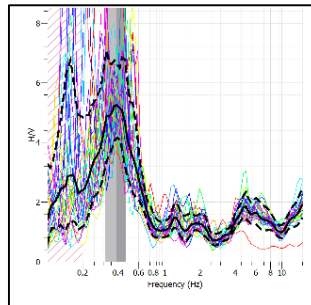
TITIK 3B

Pada data pengukuran di titik 3B, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 27 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam

pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.390817 Hz dan nilai amplifikasi 5.24668.



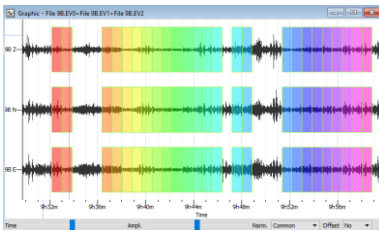
(a)



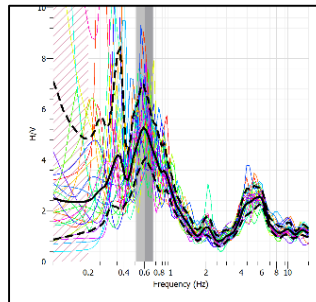
(b)

TITIK 4 B

Pada data pengukuran di titik 4B, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 25 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.610167 Hz dan nilai amplifikasi 5.21881.



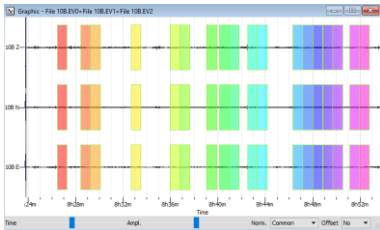
(a)



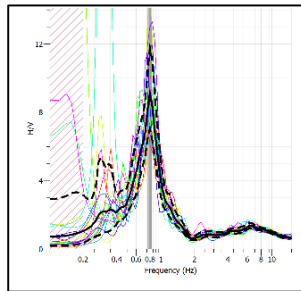
(b)

TITIK 5 B

Pada data pengukuran di titik 5B, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 18 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.79306 Hz dan nilai amplifikasi 9.011.



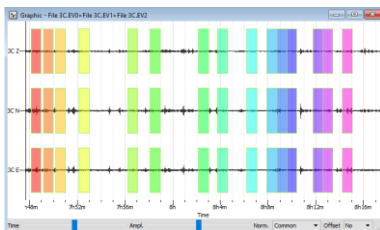
(a)



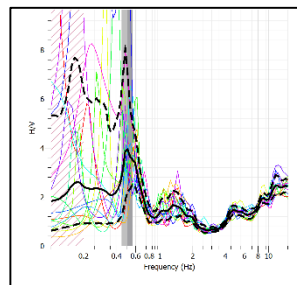
(b)

TITIK 1 C

Pada data pengukuran di titik 1C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 15 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.5. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.506729 Hz dan nilai amplifikasi 3.93525.



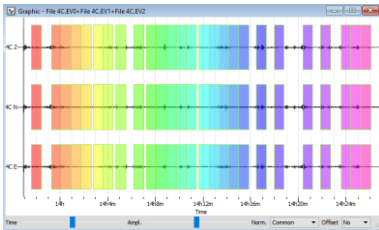
(a)



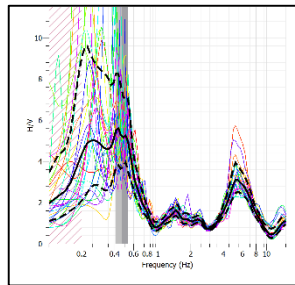
(b)

TITIK 2 C

Pada data pengukuran di titik 2C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 26 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5% , dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.468345 Hz dan nilai amplifikasi 5.2242.



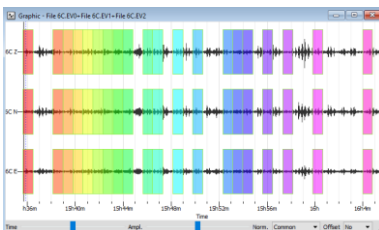
(a)



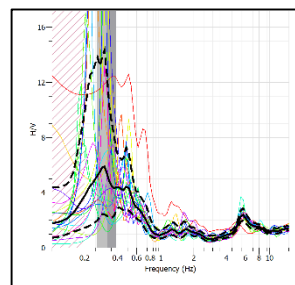
(b)

TITIK 3 C

Pada data pengukuran di titik 3C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 20 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth, menggunakan high pass filter 0.4. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.323938 Hz dan nilai amplifikasi 5.26933.



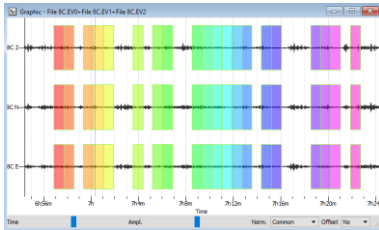
(a)



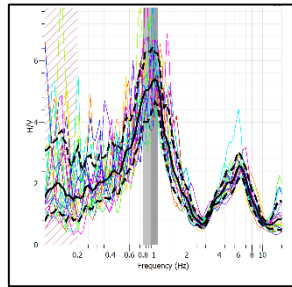
(b)

TITIK 4 C

Pada data pengukuran di titik 4C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 20 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5% , dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.948775 Hz dan nilai amplifikasi 5.21043.



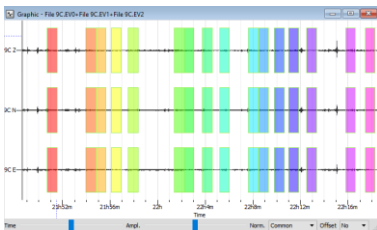
(a)



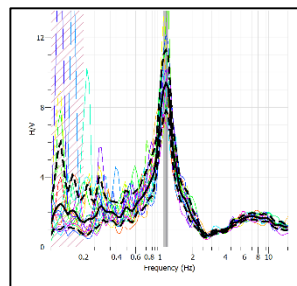
(b)

TITIK 5C

Pada data pengukuran di titik 5C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 16 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 1.116450 Hz dan nilai amplifikasi 9.00710.



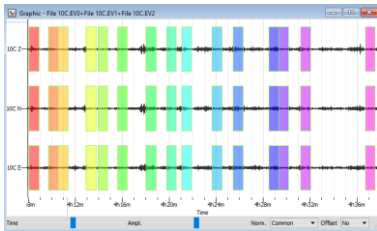
(a)



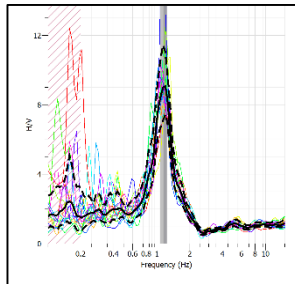
(b)

TITIK 6 C

Pada data pengukuran di titik 6C, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 15 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 1.157210 Hz dan nilai amplifikasi 9.18024.



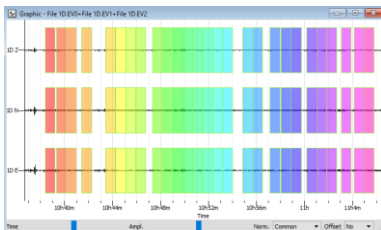
(a)



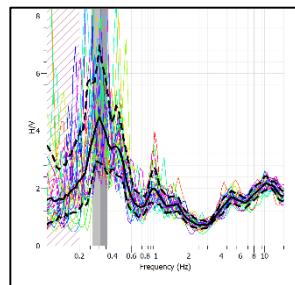
(b)

TITIK 1 D

Pada data pengukuran di titik 1D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 27 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.312193 Hz dan nilai amplifikasi 4.36784.



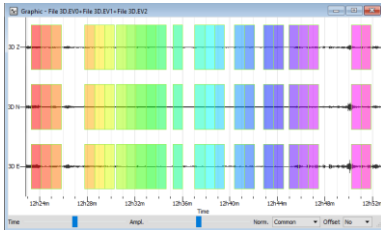
(a)



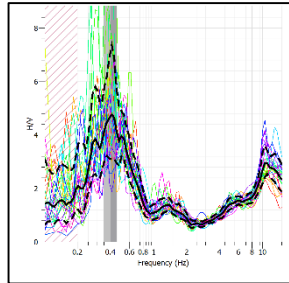
(b)

TITIK 2 D

Pada data pengukuran di titik 2D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 24 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.420587 Hz dan nilai amplifikasi 4.99340.



(a)



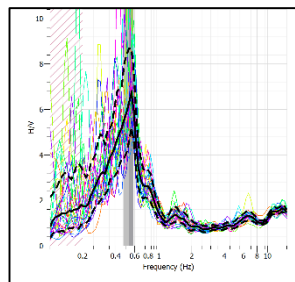
(b)

TITIK 3 D

Pada data pengukuran di titik 3D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 24 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.519603 Hz dan nilai amplifikasi 6.16332.



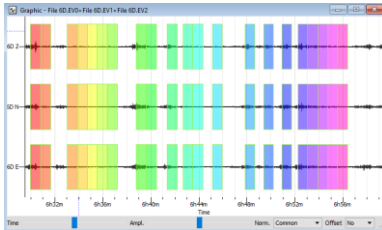
(a)



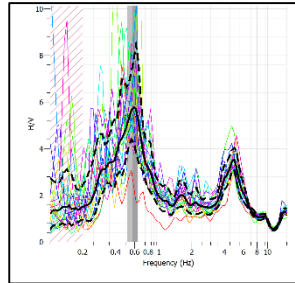
(b)

TITIK 4 D

Pada data pengukuran di titik 4D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 21 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.577862 Hz dan nilai amplifikasi 5.74249.



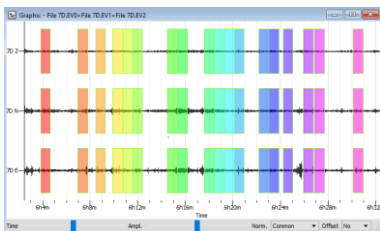
(a)



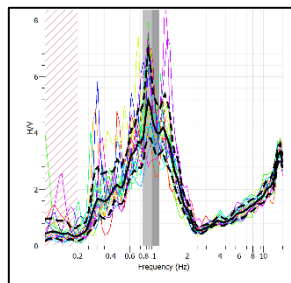
(b)

TITIK 5 D

Pada data pengukuran di titik 5D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 18 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.953616 Hz dan nilai amplifikasi 4.61511.



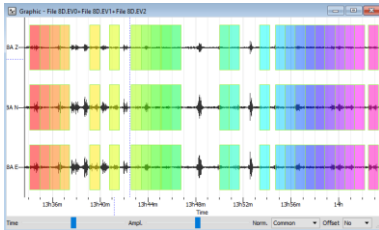
(a)



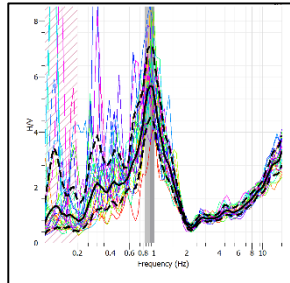
(b)

TITIK 6 D

Pada data pengukuran di titik 6D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 24 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 0.923967 Hz dan nilai amplifikasi 5.65337.



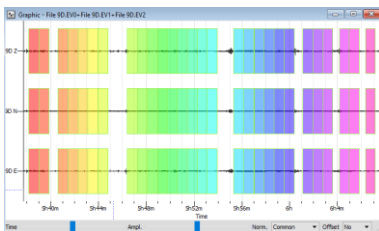
(a)



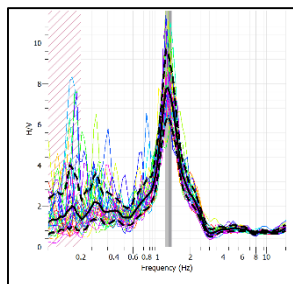
(b)

TITIK 7 D

Pada data pengukuran di titik 7D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 28 windows gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwith. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 1.26836 Hz dan nilai amplifikasi 7.72392.



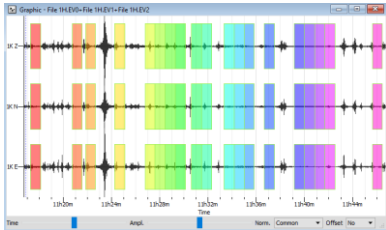
(a)



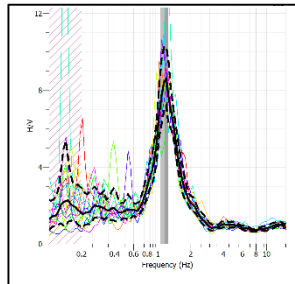
(b)

TITIK 8 D

Pada data pengukuran di titik 8D, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 14 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 1.15564 Hz dan nilai amplifikasi 8.47727.



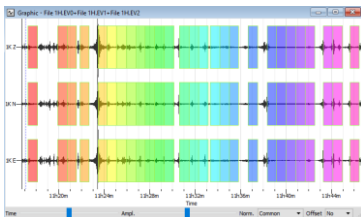
(a)



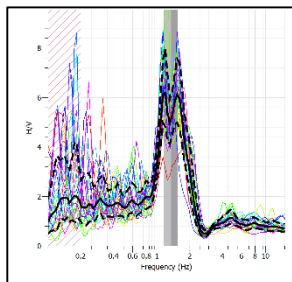
(b)

TITIK 1 H

Pada data pengukuran di titik 1H, gambar (a) merupakan data mikrotremor dan dilakukan pemilihan sinyal yang stasioner sejumlah 27 windows. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis dengan software geopsy, dalam pengolahan ini menggunakan taper fungsi cosinus 5%, dikoreksi dengan smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth. Kemudian didapatkan nilai frekuensi natural 1.1412180 Hz dan nilai amplifikasi 5.56322.



(a)



(b)

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Reza Shalahuddin Noor lahir di Nganjuk, 30 April 1995 merupakan anak pertama dari 3 bersaudara pasangan Bapak Nur Widayat dan Ibu Dwi Ratna Arifatul Choiriyah. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN 3 Podoluhur (2001-2007), SMPN 1 Kebumen (2007-2010) dan SMAN 1 Kebumen (2010-2013). Penulis masuk di Jurusan Teknik Geofisika ITS melalui jalur SNMPTN ITS pada tahun 2013. Selama menempuh pendidikan S1, penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) sebagai ketua Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) periode 2015-2016, BSO IECC (Badan Semi Otonom ITS Education Care Center) BEM ITS sebagai public relation pada periode 2015-2016. Penulis sempat mengikuti beberapa kegiatan sosial yaitu ITS Mengajar 2014 di Sampang dan ITS Mengajar 2015 di Probolinggo. Penulis juga merupakan penerima beasiswa Djarum periode 2015. Selain itu, penulis pernah melaksanakan kerja praktik di BPPTKG (Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi) Yogyakarta. Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait dengan Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui m.reza.shalahuddin@gmail.com.